

**DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO CON MODULO DE
LÍNEAS DE TRANSMISIÓN HAMPDEN USANDO UN ANALIZADOR DE
REDES FLUKE**

OSCAR EDUARDO AREVALO AMAYA

GENTIL HURTATIZ TOVAR

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ENERGETICA Y ELECTRONICA
PROGRAMA INGENIERÍA ELÉCTRICA
SANTIAGO DE CALI
2007**

**DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO CON MODULO DE
LÍNEAS DE TRANSMISIÓN HAMPDEN USANDO UN ANALIZADOR DE
REDES FLUKE**

OSCAR EDUARDO AREVALO AMAYA

GENTIL HURTATIZ TOVAR

Trabajo de grado para optar al título de Ingenieros Eléctricos

**Director
JOSE KENJI WATANABE
Ingeniero Eléctrico**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ENERGETICA Y ELECTRONICA
PROGRAMA INGENIERÍA ELÉCTRICA
SANTIAGO DE CALI
2007**

Nota de aceptación:

Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Eléctrico

Ing. HENRY MAYA
Jurado 1

Ing. GUIDO ESCOBAR
Jurado 2

Santiago de Cali, 14 de Mayo de 2007

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a Nuestras Familias por el apoyo brindado.

Al Ing. Kenji Watanabe por sus conocimientos compartidos a lo largo de los cursos dictados, además de su apoyo y orientación para la realización de este proyecto de grado.

Al Ing. Diego Fernando Almario por la oportunidad y confianza para desarrollar este tipo de proyectos y por sus claras orientaciones que llevaron a la culminación del mismo.

A la Universidad Autónoma de Occidente, en especial al Programa de Ingeniería Eléctrica que con sus laboratorios y equipos nos permitieron implementar este proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	13
INTRODUCCION	14
1. MARCO TEORICO GENERAL	15
1.1 IMPORTANCIA	15
1.2 GUÍAS DE LABORATORIO	16
1.3 MODELO DE LAS PRÁCTICAS	16
2. INVENTARIO DE LABORATORIO	17
3. PRACTICAS	21
3.1 INTRODUCCIÓN	21
3.2 GUIAS ESTUDIANTILES	23
3.2.1 Práctica # 1, Análisis de Relación de Tensiones y Corrientes en el modelo de líneas de Transmisión Medias	23
3.2.2 Práctica # 2 Análisis de potencia activa y potencia reactiva	26
3.2.3 Practica # 3 Angulo de Fase y caída de Voltaje entre Transmisor y receptor	45
3.3 GUIAS DESARROLLADAS	51
3.3.1 Práctica # 1, Análisis de Relación de Tensiones y Corrientes en el modelo de líneas de Transmisión Medias	51
3.3.2 Práctica # 2 Análisis de potencia activa y potencia reactiva	54

3.3.3 Practica # 3 Angulo de Fase y Caída de Voltaje entre Transmisor y receptor	87
4. GUÍA DE CALIDAD DE LA ENERGÍA	97
4.1 OBJETIVOS	97
4.2 INTRODUCCIÓN	97
4.3 MARCO CONCEPTUAL.	98
4.4 CONCEPTUALIZACION	107
5. CONCLUSIONES	109
BIBLIOGRAFÍA	110
ANEXOS	111

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Carga inductiva	33
Tabla 2. Regulación	34
Tabla 3. Factor de potencia para cargas comunes	43
Tabla 4. Angulo de fase con carga resistiva	46
Tabla 5. Resultados de la práctica	53
Tabla 6. Desarrollo carga inductiva	84
Tabla 7. Desarrollo regulación	85
Tabla 8. Desarrollo Angulo de fase con carga resistiva	95
Tabla 9. Numeración de armónicos	102

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Modulo H-TLS-100	17
Figura 2. Vatímetro	19
Figura 3. Diagrama de montaje	24
Figura 4. Diseño de la línea	25
Figura 5. Carga resistiva	28
Figura 6. Carga inductiva	29
Figura 7. Carga capacitiva	30
Figura 8. Motor de inducción	31
Figura 9. Carga inductiva fuente	35
Figura 10. Carga inductiva carga	36
Figura 11. Motor de inducción practica # 2	37
Figura 12. Curvas de potencia, tensión y corriente	40
Figura 13. Diagrama vectorial de potencias	41
Figura 14. Carga resistiva p3	48
Figura 15. Carga capacitiva practica # 3	49
Figura 16. Carga resistiva + carga capacitiva	50
Figura 17. Carga resistiva + carga inductiva	51
Figura 18. Diagrama de una línea media	53
Figura 19. Simulación a 500 m	56
Figura 20. Simulación a 1Km	57

Figura 21. Conexión del módulo	58
Figura 22. Montaje de la práctica carga resistiva	59
Figura 23. Montaje de la práctica carga capacitiva	59
Figura 24. Montaje de la práctica carga inductiva	60
Figura 25. Montaje de la práctica con motor de inducción	61
Figura 26. Montaje carga inductiva	64
Figura 27. Medición en la fuente	65
Figura 28. Medición en la carga	66
Figura 29. Medición en la fuente 2.8 HYS	67
Figura 30. Medición en la carga 2.8 HYS	68
Figura 31. Regulación de voltaje	69
Figura 32. Regulación de voltaje sin carga	69
Figura 33. Regulación de voltaje 1.6HYS	70
Figura 34. Regulación de voltaje desde la fuente 1.6HYS	71
Figura 35. Regulación de voltaje desde la fuente 2.8 HYS	71
Figura 36. Regulación de voltaje desde la fuente 223v	72
Figura 37. Regulación de voltaje 200 millas	73
Figura 38. Regulación de voltaje 200 millas, 1.6 HYS	73
Figura 39. Regulación de voltaje desde la fuente, 200 millas, 1.6 HYS	74
Figura 40. Regulación de voltaje desde la fuente, 200 millas, 2.8 HYS	75
Figura 41. Regulación de voltaje desde la fuente 250v, 200 millas y 2.8 HYS	75
Figura 42. Regulación de voltaje 300 millas	76

Figura 43. Regulación de voltaje desde la fuente, 300 millas, 1.6 HYS	77
Figura 44. Regulación de voltaje desde la fuente 200v, 300 millas y 1.6 HYS	77
Figura 45. Regulación de voltaje desde la fuente 300 millas y 2.8 HYS	78
Figura 46. Regulación de voltaje desde la fuente 250v, 300 millas y 2.8 HYS	79
Figura 47. Regulación de voltaje desde la fuente carga motor	79
Figura 48. Regulación de voltaje desde la fuente carga motor, 100 millas	80
Figura 49. Regulación de voltaje desde la fuente carga motor, 200 millas	81
Figura 50. Regulación de voltaje desde la fuente 250v, carga motor y 200 millas	81
Figura 51. Regulación de voltaje desde la fuente carga motor, 300 millas	82
Figura 52. Regulación de voltaje desde la fuente 250v, carga motor y 300 millas	83
Figura 53. Practica Ángulo de fase	88
Figura 54. Practica Ángulo de fase datos sin carga	89
Figura 55. Practica Ángulo de fase datos carga 600ohm-100millas	90
Figura 56. Practica Ángulo de fase datos carga máxima 100 millas	91
Figura 57. Compensación Reactiva	92
Figura 58. Compensación Reactiva 4 MFD	93
Figura 59. Compensación Reactiva 4-8 MFD	94
Figura 60. Curvas de la corriente absorbida por diversas cargas no lineales	103
Figura 61. Esquema de tercer armónico	104

Figura 62. Corrientes de fase entregadas por una carga monofásica no lineal	105
Figura 63. Espectro de corriente de fase	106

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Manual experimental del analizador de redes fluke	111

RESUMEN

En el siguiente trabajo de grado se desarrollaran prácticas de laboratorio con el modulo de líneas de transmisión trifásico marca HAMPDEN, modelo H-TLS-100 y el analizador de redes Fluke donde se puedan obtener datos de potencia activa, reactiva, regulación de voltaje, ángulo y secuencia de fase en las líneas de transmisión trifásica para identificar conceptos de generación, transmisión y uso de la potencia eléctrica. Todo esto con fin de tener claro la importancia de la estabilidad de la energía y los limites del flujo de la misma.

Los laboratorios están divididos en dos partes, la guía estudiantil y la del docente con las cuales se abordan y ejecutan diferentes temas relacionados con potencia eléctrica.

Se podrá determinar la secuencia de fases en fuente trifásica, Interpretar el significado de energía positiva, negativa, real y reactiva, observar el flujo de la energía real y de la reactiva en los circuitos trifásicos, el flujo de potencia real y reactiva en una línea de transmisión con cargas pasivas conocidas, la regulación de voltaje en el extremo receptor, como una función del tipo de carga, regular el voltaje del extremo receptor, el ángulo de fase entre el extremo transmisor y el receptor de la línea de transmisión, la caída de voltaje, cuando los voltajes del extremo transmisor y receptor tienen la misma magnitud.

Llevar todos los datos obtenidos al PC y con estos poder realizar un informe o simulación en un programa alterno.

INTRODUCCION

Algunas de las propiedades de un circuito eléctrico se pueden explicar por medio de los campos eléctrico y magnético que acompañan a su flujo de corriente. Las líneas de flujo magnético forman lazos cerrados que enlazan al circuito, mientras las líneas de flujo eléctrico tienen su origen en las cargas positivas de un conductor y terminan en las cargas negativas del otro conductor. La variación en la corriente en los conductores origina un cambio en el número de líneas de flujo magnético que enlazan al circuito. Cualquier cambio en los enlaces de flujo de un circuito induce una tensión en el circuito que es proporcional a la razón de cambio del flujo.

- La inductancia del circuito relaciona la tensión inducida por el flujo variable con la razón de cambio de la corriente.
- La capacitancia que se presenta entre los conductores se define como la carga por unidad de diferencia de potencial entre ellos.
- La resistencia y la inductancia uniformemente distribuidas a lo largo de la línea construyen la IMPEDANCIA SERIE.
- La conductancia y la capacitancia que se presenta entre conductores de una línea monofásica o desde un conductor al neutro de una línea trifásica construyen la ADMITANCIA PARALELO O DE DISPERSION.

Los estudios de flujos de potencia son de gran importancia en la planeación y diseño de la expansión futura de los sistemas de potencia, así como también en la determinación de las mejores condiciones de operación de los sistemas existentes. Una de las informaciones más valiosas que se obtienen a través de un estudio de flujo de potencia es la magnitud y el ángulo de fase de la tensión al inicio o final de una línea, además de las potencias activas y reactivas que fluyen en las líneas de transmisión o distribución.

Se realizaron prácticas con las respectivas guías para el estudiante y para el docente, relacionadas con algunos temas de la asignatura Potencia 2 como son el flujo de potencia activa, reactiva, regulación y caída de voltaje, ángulo de fase y el comportamiento de estos frente a diferentes tipos de cargas.

Los experimentos en laboratorio deben poder mostrar a escala muchas de los conocimientos adquiridos magistralmente y además desarrollen en el estudiante la capacidad de autoaprendizaje con problemas prácticos y que seguramente se observaran en la vida profesional.

1. MARCO TEORICO GENERAL

1.1. IMPORTANCIA

El mundo entero avanza pidiendo cada vez mas recursos de todo tipo, dentro de todos estos recursos la ENERGÍA es uno de los mas importantes (“aunque algunas teorías sostienen que la energía mueve el mundo, sin ella no existe nada”), cada día se habla mas de fuentes de energía renovables, mas confiabilidad en los sistemas y un cubrimiento total de la demanda con los mas óptimos parámetros de calidad de la energía. Para que todo esto se cumpla tenemos 4 grandes procesos integrados verticalmente que son: la generación, la transmisión, la distribución y la comercialización de la energía; el real desarrollo de los sistemas de potencia surge cuando existe una sinergia entre la academia, la industria y el gobierno, desde el punto de vista de la academia se debe tener el compromiso de aportar además de profesionales, investigaciones y desarrollos en los temas mas sensibles, una cultura a la practica constante de teorías adquiridas a lo largo de la carrera universitaria. La transmisión de energía es uno de los procesos más importantes debido a que es el que me conecta la generación con la distribución de energía a través de líneas de transmisión; aquí nos encontramos con una serie de conceptos que se deben tener claros tanto en la teoría como en la práctica.

Este proyecto de grado es de vital importancia para la conceptualización aterrizada de varias nociones que son básicas dentro de los conocimientos integrales que debe tener un ingeniero electricista en lo concerniente a la transmisión de energía por medio de líneas cortas, medias o largas. En dos guías practicas desglosadas en 3 focos integrados de conocimiento, donde se pretende tener claridad desde toda la concepción de lo que es una potencia activa, reactiva y aparente, hasta los conceptos de compensación de potencia reactiva; todos esto visto integralmente como un sistema de potencia, donde tenemos un equivalente de red, líneas de transmisión y tipos de carga resistivos, inductivos y capacitivos.

Con todo lo dicho anteriormente se debe considerar que la creación de un escenario donde se pueda observar en la practica toda la concepción teórica vista en los cursos de potencia, debe ser tomada como un gran aporte para la concordancia que finalmente conlleve ha un real desarrollo de los sistemas de potencia.

1.2. GUÍAS DE LABORATORIO

Practica #1

Análisis de Relación de Tensiones y Corrientes en el Modelo de líneas de Transmisión Medias.

Practica #2

Análisis de Potencia activa y Potencia reactiva.

Flujo de Potencia y Regulación de Voltaje de una Línea de Transmisión simple.

Practica #3

Angulo de Fase y Caída de Voltaje entre Transmisor y Receptor.

1.3. MODELO DE PRÁCTICAS

1.3.1. Modelo Estudiantil

- Nombre de la práctica.
- Objetivos.
- Materiales.
- Preinforme (Preguntas básicas sobre lo que se tratara).
- Ejecución de la practica (Diagramas de montaje).
- Informe (Preguntas conceptuales, soportadas en el análisis de la información obtenida con el Fluke).
- Marco teórico de la práctica.

1.3.2. Modelo Desarrollado

- Nombre de la práctica.
- Objetivos.
- Materiales.
- Preinforme desarrollado.
- Ejecución de la practica (fotos del montaje).
- Informe (respuestas a las preguntas conceptuales soportadas con los pantallasos del fluke).
- Conclusiones.

2. INVENTARIO DE LABORATORIO

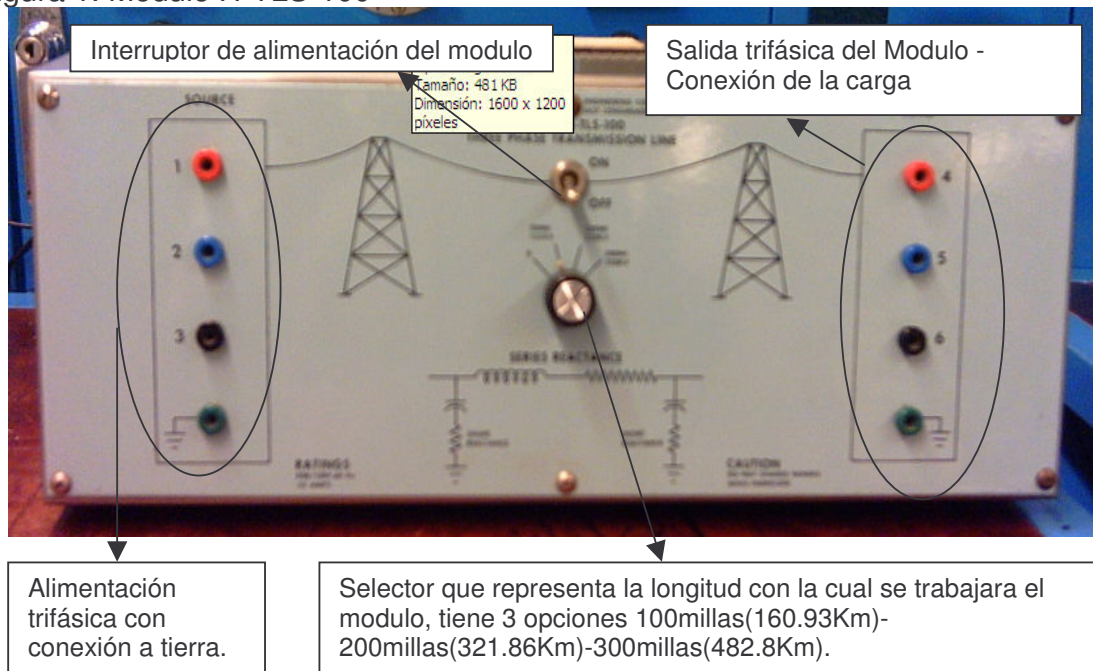
Para el desarrollo de este Proyecto de grado se contó con los elementos que posee el laboratorio de Ing. Eléctrica como son:

2.1. MODULO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN TRIFÁSICO MARCA HAMPDEN, MODELO H-TLS-100

Elemento con el cual se pueden simular las características de los diferentes tipos de líneas cortas, medias y largas, posee una entrada y salida trifásica con un interruptor central y selector para escoger el tipo de línea.

Es importante aclarar que el selector de longitud cumple la función de aumentar o disminuir la configuración de impedancias que tiene el modulo internamente para así representar los distintos fenómenos que suceden en una línea de transmisión, como por ejemplo las caídas de tensión donde podemos analizar problemas de regulación, el comportamiento de la corriente ante una impedancia mas grande donde se puede observar los dimensionamientos de las líneas, etc.

Figura 1. Modulo H-TLS-100



2.2. ANALIZADOR DE REDES TRIFÁSICO MARCA FLUKE.

El analizador consta de los siguientes elementos:

- Analizador de calidad de la energía eléctrica.
- Juego de adhesivos para las tomas de entrada.
- Correa.
- Pinzas de cocodrilo. Juego de 5.
- Cables de prueba, 2,5m. Juego de 5.
- Pinzas amperimétricas de CA intercambiables de 400A (1 mV/A) y 40A (10 mV/A). Juego de 4.
- Cargador de batería / Adaptador de red.
- Adaptador de enchufe de línea (según el país).
- Manual de Puesta en funcionamiento.
- CD ROM con manuales de uso y de puesta en funcionamiento (en varios idiomas).
- Estuche rígido.
- CD ROM con el software FlukeView® para Windows®, estándar para el modelo Fluke 434 y opcional para el modelo Fluke 433.
- Cable óptico USB, estándar para el modelo Fluke 434 y opcional para el modelo Fluke 433.

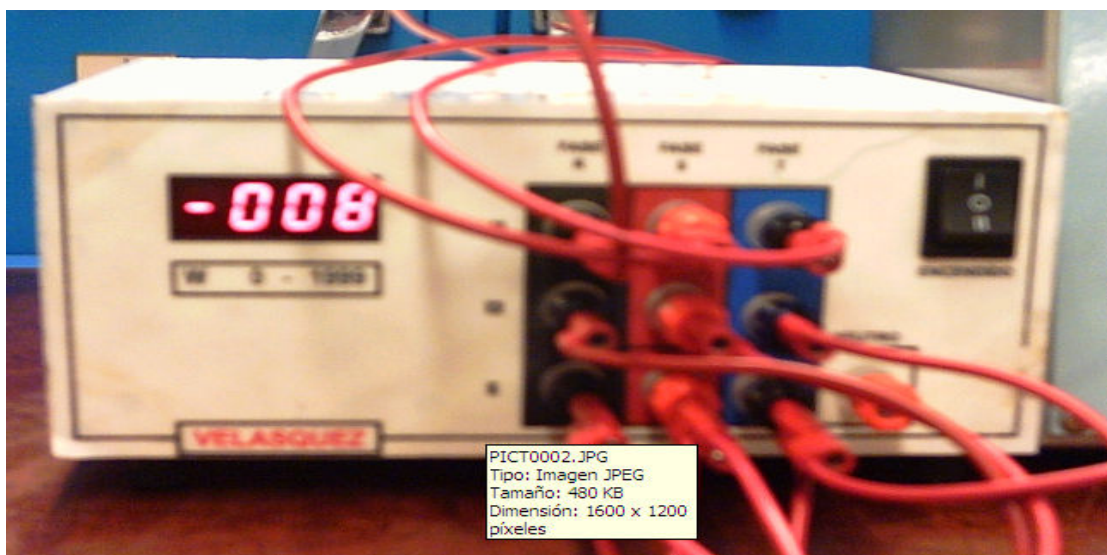
Ofrece una completa serie de potentes funciones para la comprobación de sistemas de distribución eléctrica. Algunas de estas funciones le permiten obtener una visión general del funcionamiento del sistema eléctrico, mientras que otras le sirven para examinar detalles específicos.

El modelo Fluke 434 incorpora funciones adicionales como interarmónicos, transitorios, utilización de la energía, memoria adicional para almacenar pantallas y datos, el software FlukeView y un cable óptico USB aislado.

2.3. VATÍMETRO TRIFÁSICO “VELÁSQUEZ”

Instrumento con el cual se puede medir potencia trifásica que absorbe una carga pasiva o activa. Su conexión es en serie con la red a medir.

Figura 2. Vatímetro



2.4. MULTIMETRO DIGITAL (FLUKE)

Instrumento de medida electrónico que permite tomar valores de algunos parámetros eléctricos como son voltaje, corriente, resistencia, etc. Ya sea en Corriente continua o alterna.

2.5. MODULO DE CAPACITANCIA TRIFÁSICO

Modulo trifásico de capacitancias en paralelo que posee valores de 4, 8, 16 MFD.

2.6. MODULO DE INDUCTANCIA TRIFÁSICO

Modulo trifásico de inductancias en paralelo que posee valores 1.6, 0.8 y 0.4 HYS.

2.7. MODULO DE RESISTENCIA TRIFÁSICO

Modulo trifásico de resistencias en paralelo que posee valores 600, 300 y 150 OHM.

2.8. MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO.

Elemento que convierte energía eléctrica en energía mecánica, por medio de un campo magnético posee las siguientes características:

Potencia: 0.4HP

Voltaje: 220YY / 440Y

Corriente: 1.7A / 0.85^a

FP: 0.83

Velocidad: 1640RPM

Frecuencia: 60Hz.

2.9. AUTOCAD 2006

Herramienta computacional creada para la realización de planos y esquemas de montaje, no solo utilizada a nivel de arquitectura sino en la parte de Ingeniería y que facilita el diseño y la comprensión de los diagramas a ejecutar en campo.

3. PRACTICAS

3.1. INTRODUCCIÓN

La concepción e interiorización de conceptos adquiridos a lo largo de la carrera universitaria debe tener una relación práctica que lleve al estudiante a una recordación inmediata de sus conocimientos, en nuestro caso se considera que los cursos de Potencia 1, Potencia 2 y Potencia 3 marcan una columna vertebral de gran relevancia en la formación del ingeniero electricista, en estas prácticas de laboratorio se abordarán temas específicos que se relacionarán con los cursos antes mencionados.

Se iniciará con una práctica sencilla pero con el ánimo de que el estudiante tenga muy presente que todo el desarrollo de sus prácticas en el módulo de líneas están modeladas por el modelo π de líneas de transmisión medias, aquí se sacarán datos básicos para obtener las ecuaciones que me entreguen la relación de tensiones y corrientes que circularán por el módulo, luego continuando con el gran tema visto en circuitos 2 (Triángulo de Potencia – “Teoría”), que luego es retomado en Potencia 1 (Potencia Activa – Reactiva – Aparente – “Aplicación”) para darle un matiz mucho más práctico en el diseño de líneas, en esta práctica se tratará de que el estudiante pueda observar, detallar física y realmente a que se refieren en estos cursos cuando por ejemplo se discute que los sistemas de potencia son prácticamente inductivos y por eso el vector de corriente va atrás del vector de tensión, además de cuestiones como la transmisión de potencia activa y reactiva en los sistemas de potencia en donde se tiene que tener en cuenta en el momento de diseñar una línea cuánta potencia se va a transmitir y a qué tipo de carga se le va a entregar o si solo son líneas para anillar subestaciones, etc.

En el contenido de Potencia 2 se encuentra que el primer tema que se aborda es Conceptos Básicos para el Análisis de Sistemas de Potencia, donde se reafirman todos los conceptos mencionados anteriormente. Para seguir con Potencia 2 es importante indicar que el tema Flujos de carga es de los más representativos dentro de este curso, dentro de las prácticas los estudiantes podrán resolver cuestionamientos como ¿Cómo afecta la distancia de una línea de transmisión en el transporte de la potencia activa?, observar el comportamiento de los perfiles de tensión en los momentos donde se tiene una sobrecarga también hacen parte sensible en lo que a flujos de carga se refiere. También se trabajará un tema importante hoy en día debido a la gran cantidad de cargas consumidoras de potencia reactiva como lo es el de la compensación de la misma.

El ultimo tema en el contenido de Potencia 2 es “Introducción a los armónicos”, en el siguiente capítulo se ha dejado una gran reseña en una guía denominada “**GUÍA DE CALIDAD DE LA ENERGÍA**”, en la cual se establece de una manera aterrizada todos los conceptos básicos concernientes a la calidad de la energía, tema que hoy en día es de gran aceptación y divulgación en el medio de la ingeniería eléctrica; se considera de gran importancia que los estudiantes puedan interiorizar esta guía ya que maneja lo que todo ingeniero electricista hoy en día debe de saber.

Finalmente en cuanto a potencia 3 tenemos en el contenido un tema denominado “Control automático de la frecuencia y la generación” con unos conceptos establecidos en regulación propia de un sistema eléctrico, para esto se planteo la regulación a través de una reóstato en serie con el montaje, con el cual se tratara de regular la tensión iniciando en un nivel de tensión un poco mas bajo para cuando experimentemos caídas de tensión debido a aumentos de carga se pueda reestablecer de nuevo, esto simulando un poco la acción del tap en un transformador o en un caso mas real el incremento de tensión desde una central de generación.

Se espera que de acuerdo a todo lo planteado estas practicas sean lo suficientemente constructivas para aterrizar e interiorizar todos los conocimientos antes mencionados.

3.2. GUIAS ESTUDIANTILES

3.2.1. Practica #1 Análisis de relación de tensiones y corrientes en el modelo de líneas de transmisión medias.

- Objetivos

- Aterrizarle al estudiante el concepto del modelo de líneas de transmisión medias antes de empezar a usar el modulo de líneas Hampden.
- Obtener la relación de tensiones y corrientes del modulo hampden.
- Obtener los parámetros del modelo de líneas de transmisión medias.

- Materiales

- (1) Modulo de líneas de transmisión
- (3) Multimetros
- (2) Juego de cables medianos

- Preinforme

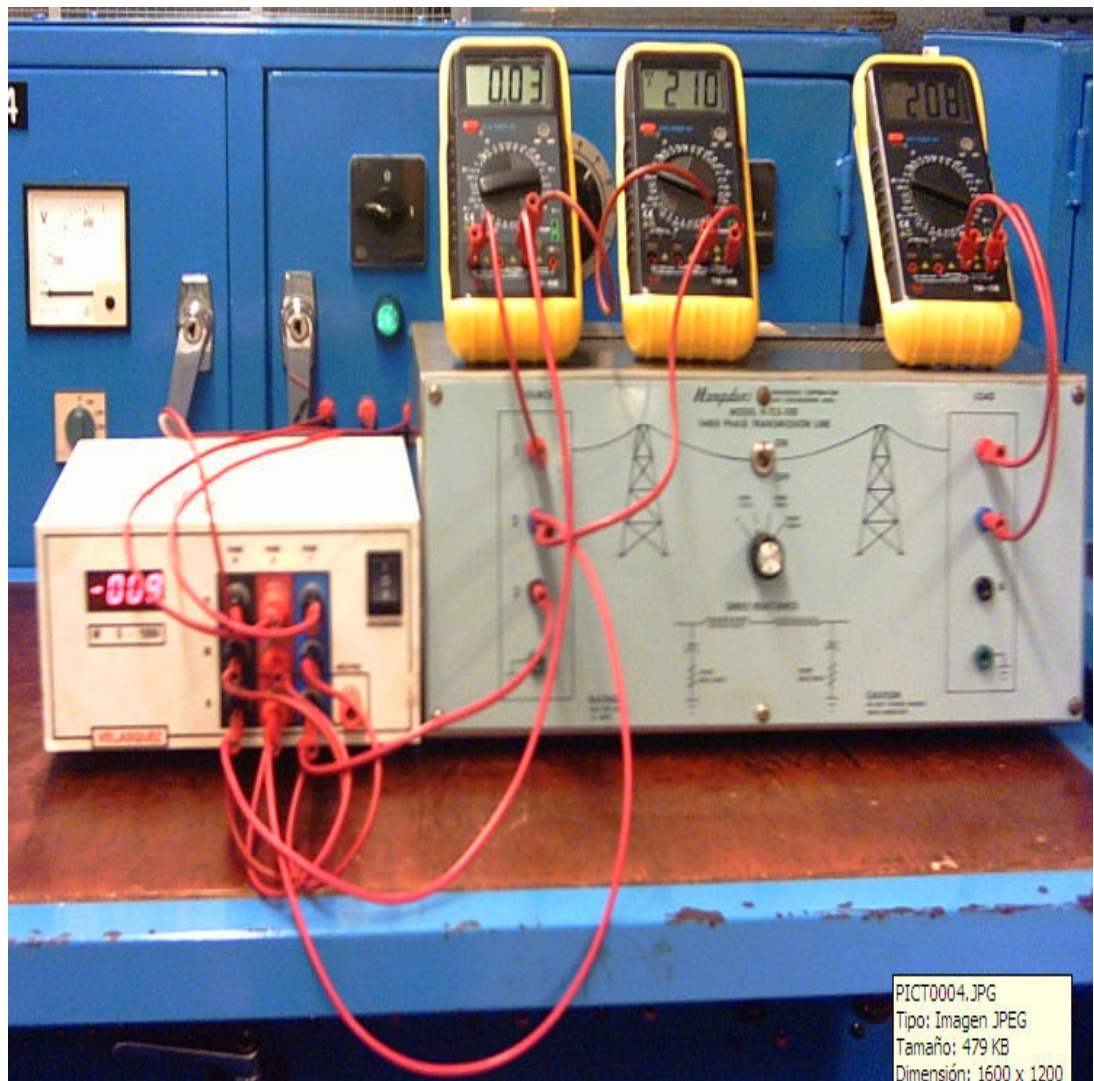
- ¿Cuáles son los 4 parámetros que afectan la real capacidad de una línea de transmisión para cumplir su función como parte de un sistema de potencia?
- ¿Por qué generalmente la conductancia no es tomada en cuenta?
- ¿Cómo se representaría el modelo de una línea de transmisión corta?
- ¿De que dependen los parámetros L y C en el modelo pi de una línea de transmisión media?
- Relacione las longitudes en las cuales se clasifican las líneas cortas, medias y largas.

- Practica

- Tomar lecturas de corriente que absorbe el modulo, tensión de entrada, tensión de salida y potencia.

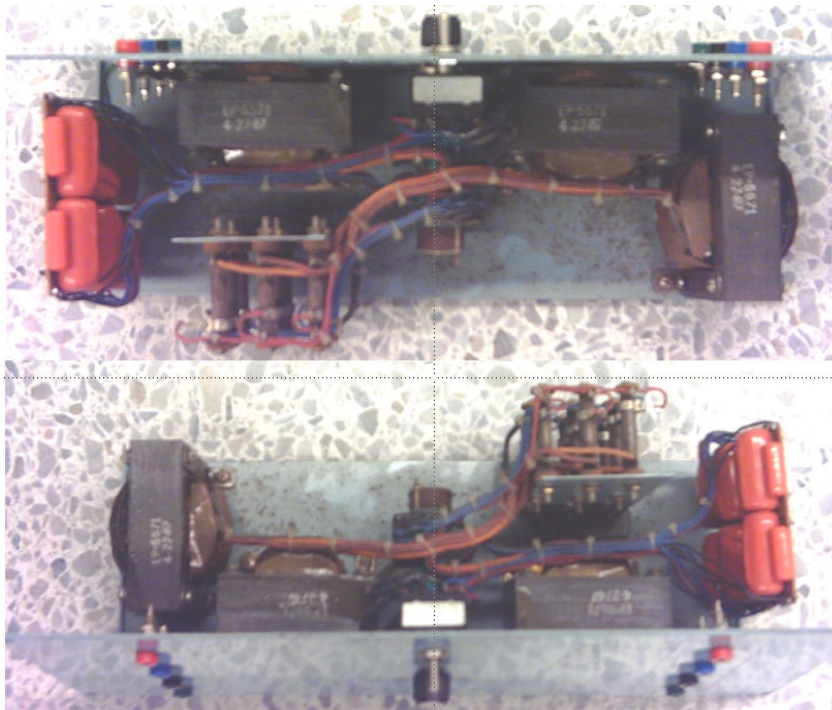
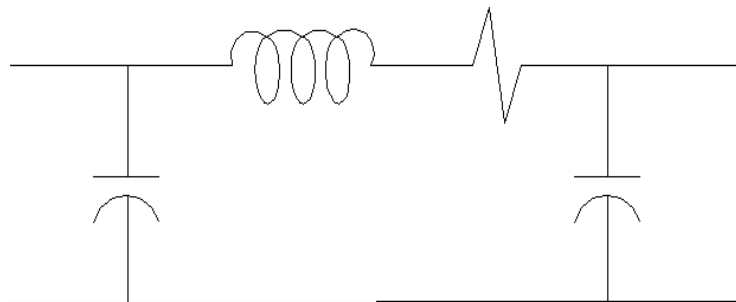
- Diagrama de montaje

Figura 3. Diagrama de montaje



- Informe
 - Represente la información obtenida en el siguiente modelo:
 - Obteniendo las ecuaciones de relación de tensión y corriente del modelo.

Figura 4. Diseño de la línea



3.2.2. Práctica # 2 Análisis de potencia activa y potencia reactiva.

- Objetivos

- Interpretar el significado de energía positiva, negativa, real y positiva.
- Observar el flujo de la energía real y de la reactiva, en los circuitos trifásicos.

- Materiales

- (1) Modulo de líneas de transmisión
- (1) Modulo de resistencia
- (1) Modulo de inductancia
- (1) Modulo de capacitancia
- (1) Multímetro
- (1) Modulo del motor de inducción
- (1) Analizador de calidad de Potencia Fluke
- (1) Juego de cables cortos
- (1) Juego de cables medianos
- (1) Juego de cables largos

- Preinforme

- ¿Qué significa potencia activa?
- ¿Qué significa potencia reactiva?
- ¿Qué consume una carga 100% resistiva?
- Explicar que significa afirmar que una inductancia absorbe potencia reactiva, mientras que un capacitor la suministra.
- Realizar una simulación básica en Neplan 5.2.4 en donde pueda observar lo descrito anteriormente.
- Monte un Equivalente de Red
- Ingrese una línea variando su longitud (cortas, medias, largas).
- Ingrese una carga:
 - Resistiva
 - Inductiva
 - Capacitaba
 - Resistencia y inductancia
 - Resistencia y capacitancia
- Consigne toda la información en el preinforme y asista con ella (en formato digital) al laboratorio.

- Practica
 - Diagramas de montaje
 - Carga resistiva
 - Carga inductiva
 - Carga capacitiva
 - Motor de Inducción
- Informe
 - Se conecta una carga eléctrica Z a los terminales de una fuente de 220V CA. Muestre la dirección del flujo de la potencia activa y la reactiva que pasa a través de la línea (variando su longitud, cortas, medias, largas), si Z esta compuesta de:
 - Resistencia
 - Inductancia
 - Capacitancia
 - Resistencia y inductancia
 - Resistencia y capacitancia
 - Motor Trifásico
 - Muestre vectorialmente como se comportan las fases según la carga en un desbalance.
 - Genere el informe final en el Analizador de redes Fluke.

- Diagramas de montaje

Figura 5. Carga resistiva

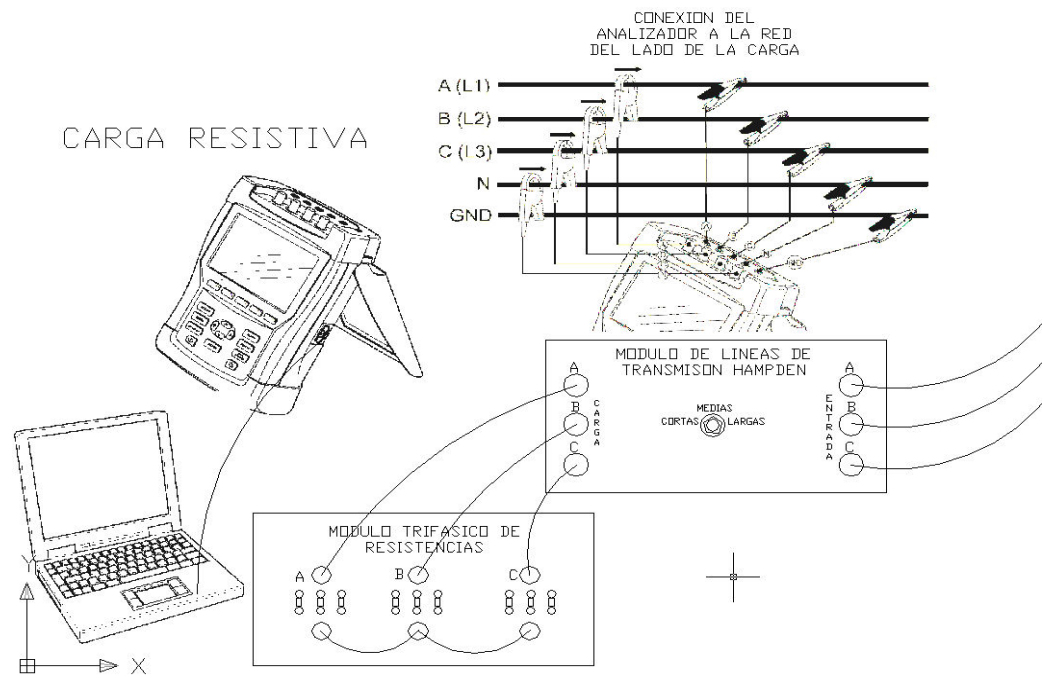


Figura 6. Carga inductiva

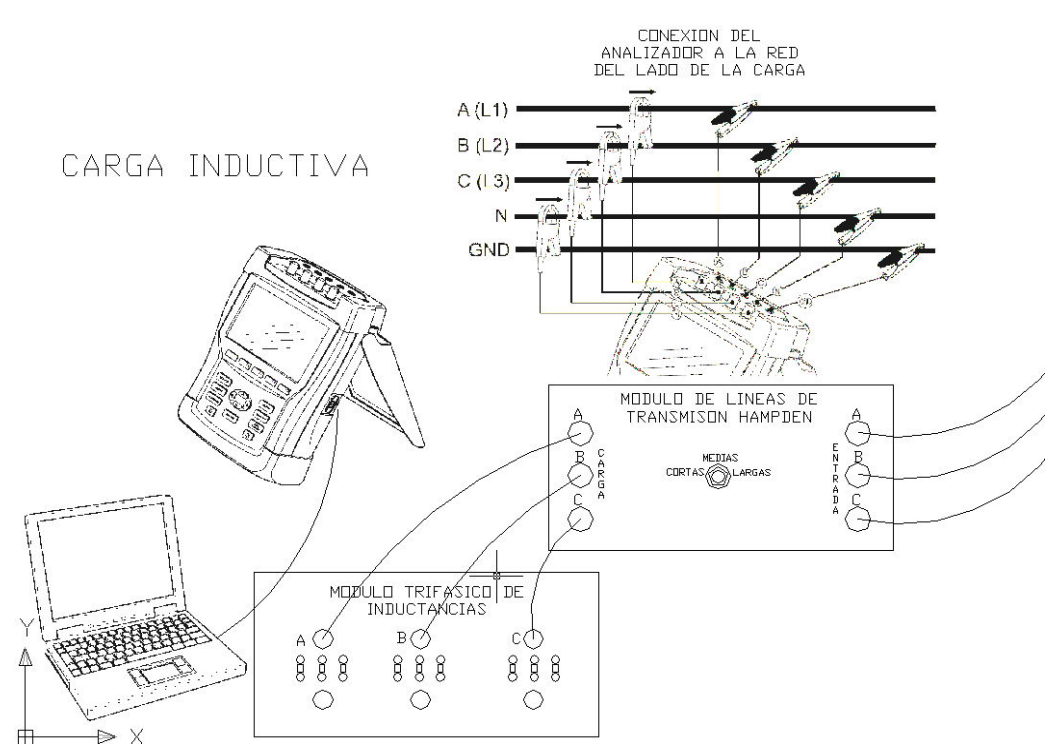


Figura 7. Carga capacitiva

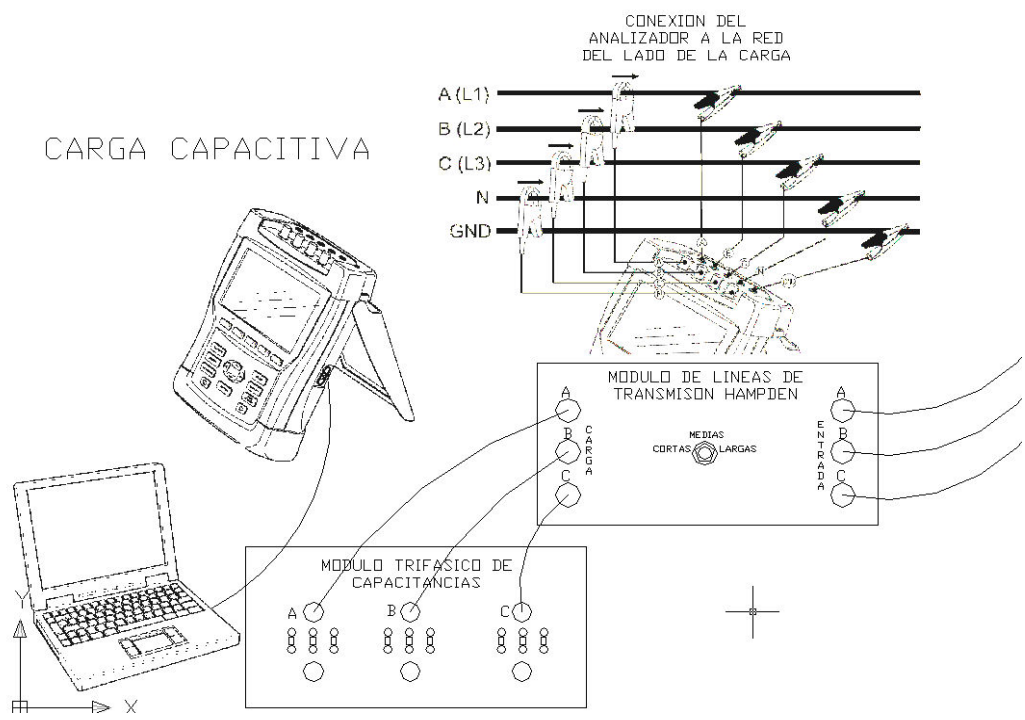
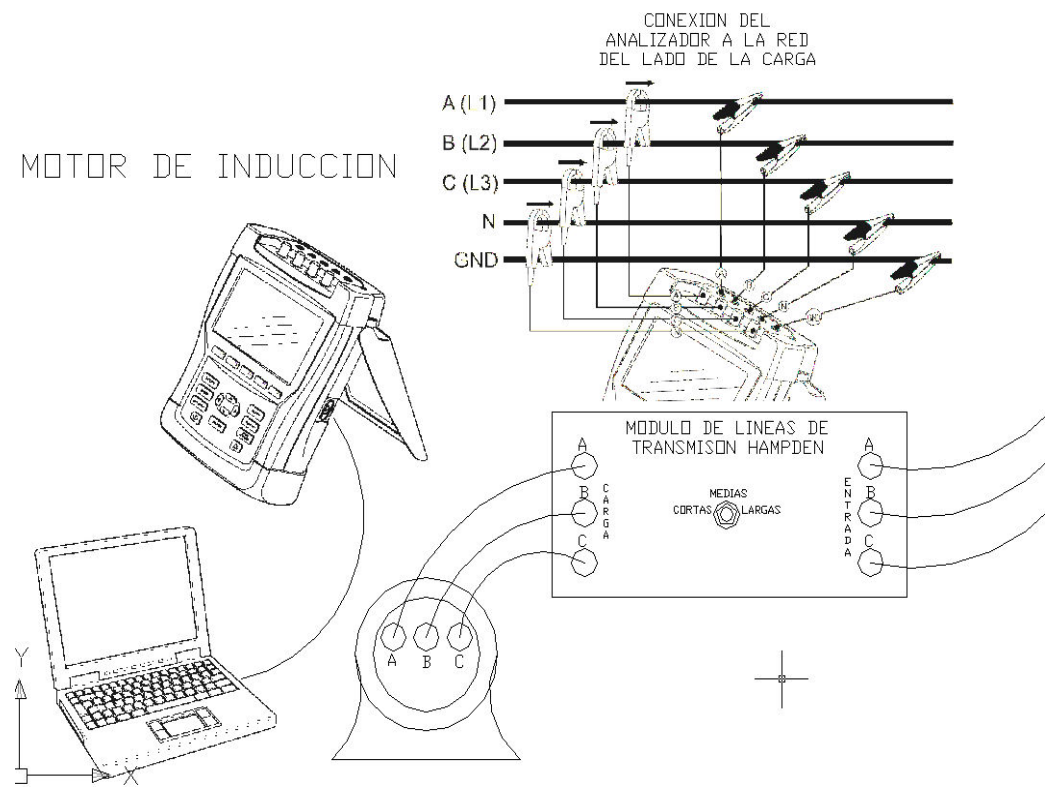


Figura 8. Motor de inducción



- Flujo de Potencia y Regulación de Voltaje de una Línea de Transmisión simple.

- Objetivos

- Observar el flujo de potencia real y reactiva en una línea de transmisión trifásica, con cargas pasivas, conocidas.

- Observar la regulación de voltaje en el extremo receptor, como una función del tipo de carga.

- Materiales

- (1) Modulo de líneas de transmisión
- (1) Multímetro digital
- (1) Analizador de redes (Fluke)
- (1) Modulo de capacitancia
- (1) Motor de inducción trifásico

- Preinforme

- Explique porque una línea de transmisión se comporta como una resistencia, inductancia y capacitor.

- Diga cuales son las principales características en las líneas cortas, medias y largas.

- ¿Que es la regulación de voltaje?

- ¿para que se utiliza en los sistemas de transmisión de energía?

- Practica

- Monte el esquema a continuación, con una fuente de voltaje variable analice el comportamiento de la potencia activa y reactiva cerca de la fuente y luego cerca de la carga.

- FUENTE

- Carga Inductiva

- CARGA

- Carga Inductiva

▪ Mida potencia activa, reactiva y voltaje en cada caso, por medio de la fuente variable trate de mantener constante el voltaje en la cargas (regulación de voltaje):

- Inductivas
- Motor de inducción trifásico

- Informe

▪ Con los datos obtenidos calcule la potencia real y reactiva que absorbe la línea de transmisión, complete la tabla # 1.

▪ Calcule la regulación de voltaje de la línea de transmisión a partir de la fórmula y complete la tabla # 2.

$$\% \text{ de regulación} = \frac{(E_0 - E_L) \times 100}{E_0}$$

En la cual E_0 es el voltaje de circuito abierto y E_L es el voltaje bajo carga, ambos en el extremo de la carga (o receptor).

Tabla 1. Carga inductiva

CARGA	W_1 (kW)	var_1 (kVARS)	W_2 (kW)	var_2 (kVARS)	Kw de Línea	kVARS de Línea
1.6 HYS 100millas						
2.8 HYS 100millas						
1.6 HYS 200millas						
2.8 HYS 200millas						
1.6 HYS 300millas						
2.8 HYS 300millas						

Tabla 2. Regulación

CARGA	E_0 (V)	E_2 (V)	REGULACIÓN (%)
1.6 HYS 100millas			
2.8 HYS 100millas			
1.6 HYS 200millas			
2.8 HYS 200millas			
1.6 HYS 300millas			
2.8 HYS 300millas			
Motor 100millas			
Motor 200millas			
Motor 300millas			

- Diagramas de montaje

Figura 9. Carga inductiva fuente

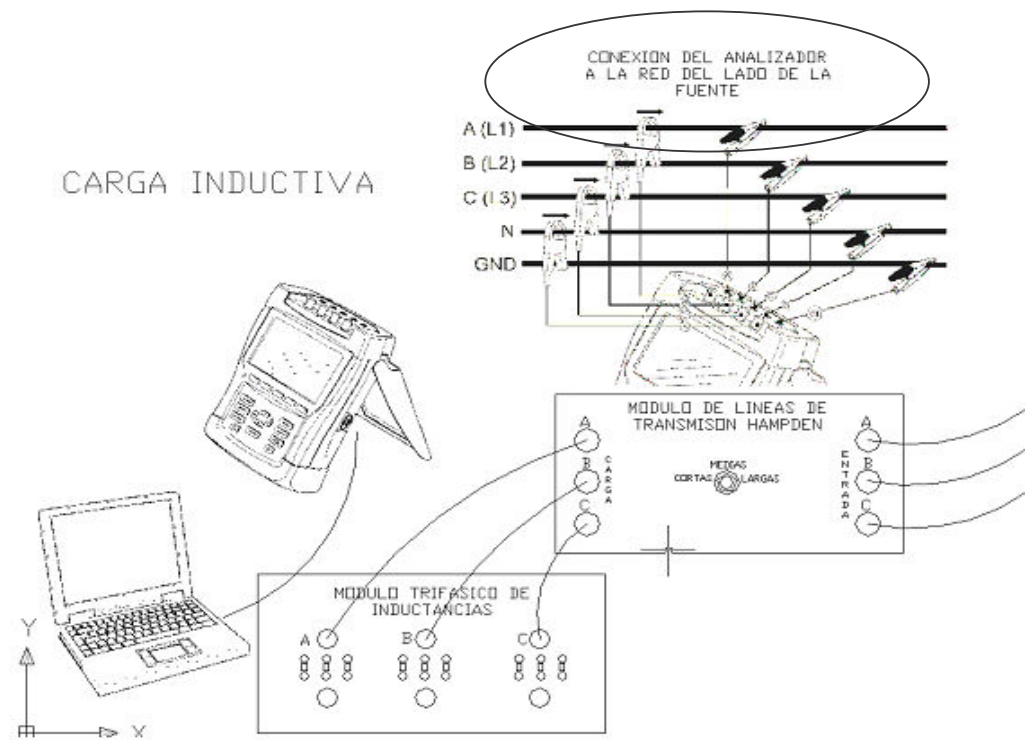


Figura 10. Carga inductiva carga

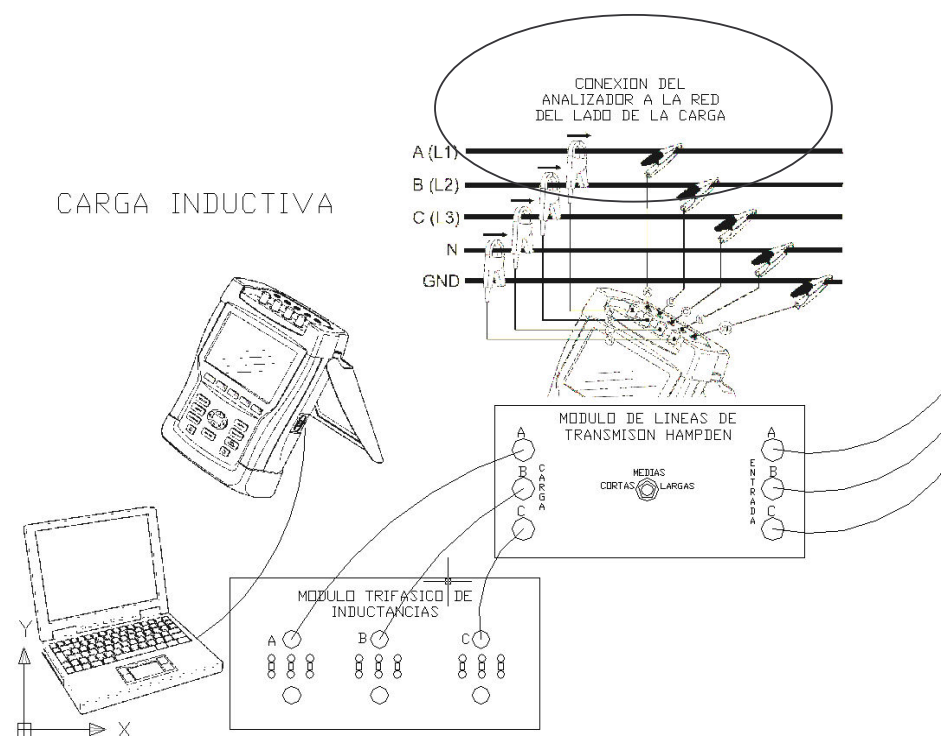
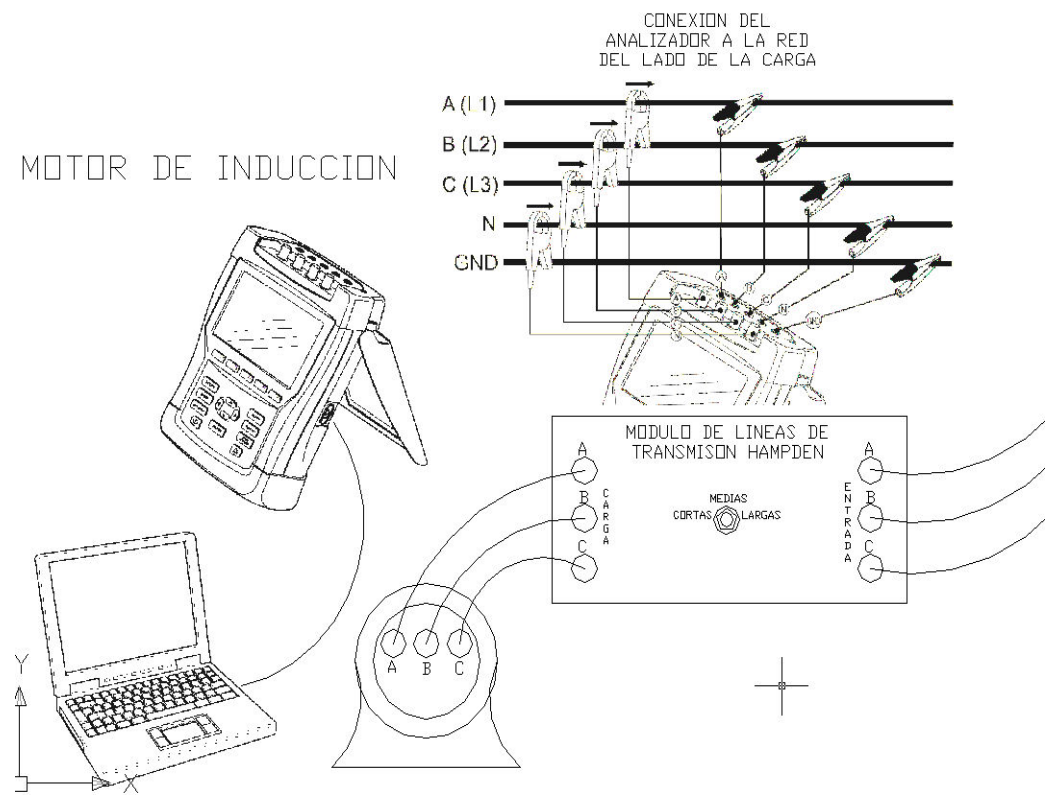


Figura 11. Motor de inducción practica # 2



- Marco Teórico de la Practica

- Energía activa y Energía reactiva.

Las instalaciones de corriente alterna requieren en general para su funcionamiento de dos formas de energía:

Energía Activa: (medida en KWh) la cual es convertida en energía mecánica, calor, etc.

Energía Reactiva: (medida en kVArh) la cual se puede presentar en dos formas:

La requerida por los circuitos inductivos, como son los motores, transformadores, lámparas de descarga, etc.

La requerida por los circuitos capacitivos, como son la capacidad de los cables, condensadores, etc.

En las instalaciones eléctricas de corriente alterna, las cargas son esencialmente inductivas, así como las reactancias de los sistemas de distribución y transmisión.

Estas cargas inductivas cíclicamente absorben energía del sistema (durante la creación de los campos magnético que necesitan para su funcionamiento) y entregan dicha energía al sistema (durante la destrucción de los campos magnéticos), dos veces en cada ciclo.

Este trasiego de energía entre las cargas y el sistema, provoca el incremento de la corriente que debe entregar el Sistema de Potencia, causando mayores pérdidas en los conductores y mayores caídas de voltaje.

Flujo de potencia en una instalación

La potencia eléctrica instantánea entregada por el sistema es:

$$p(t) = u(t) \cdot i(t)$$

Para un sistema eléctrico monofásico, sinusoidal puro:

$$u(t) = \sqrt{2}V \cdot \text{sen } \omega t \quad i(t) = \sqrt{2}I \cdot \text{sen}(\omega t - \phi)$$

$$p(t) = \sqrt{2}V \cdot \text{sen } \omega t \cdot \sqrt{2}I \cdot \text{sen}(\omega t - \phi) = VI \cos \phi - VI \cos(2\omega t - \phi)$$

En la Fig. 12 se representan las curvas de potencia, tensión y corriente instantánea para una carga monofásica inductiva lineal.

Como se puede ver, la potencia instantánea entregada se compone de dos sumandos: una potencia oscilante a una frecuencia doble de la fundamental, y una potencia media de valor $VI \cos \phi$ que realmente nos determina la potencia activa o útil entregada a la carga.

Otra forma de escribir esta ecuación es:

$$p(t) = VI \cos \phi \cdot (1 - \cos 2\omega t) - VI \sin \phi \cdot \text{sen } 2\omega t$$

A partir de lo anterior se puede escribir:

$$p(t) = P \cdot (1 - \cos 2\omega t) - Q \cdot \text{sen } 2\omega t$$

Donde,

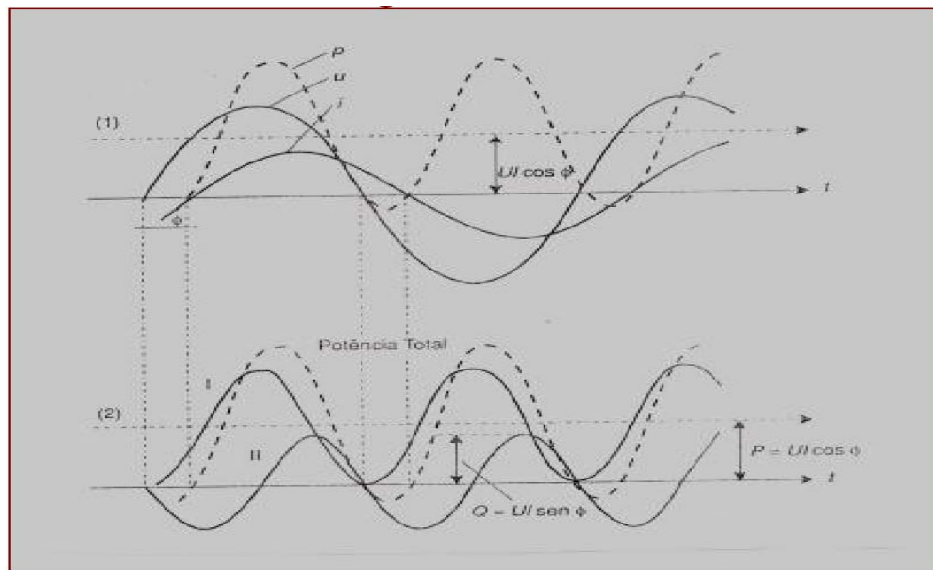
- $P = \text{Potencia activa} = VI \cos \phi$
- $Q = \text{Potencia reactiva} = VI \sin \phi$

En la siguiente figura se representan los dos términos que componen la potencia instantánea:

- El primer término corresponde a la potencia entregada a la carga, es siempre positiva y su valor medio es la Potencia Activa $VI \cos \phi$.

- El segundo término es la potencia que oscila entre el sistema y la carga, su valor medio es nulo, y su valor máximo es la potencia reactiva.

Figura 12. Curvas de potencia, tensión y corriente



Fuente: WILDI, Theodore. Sistemas de Transmisión de Potencia Eléctrica. Chicago: Limusa, 1995. p. 37.

- Factor de Potencia

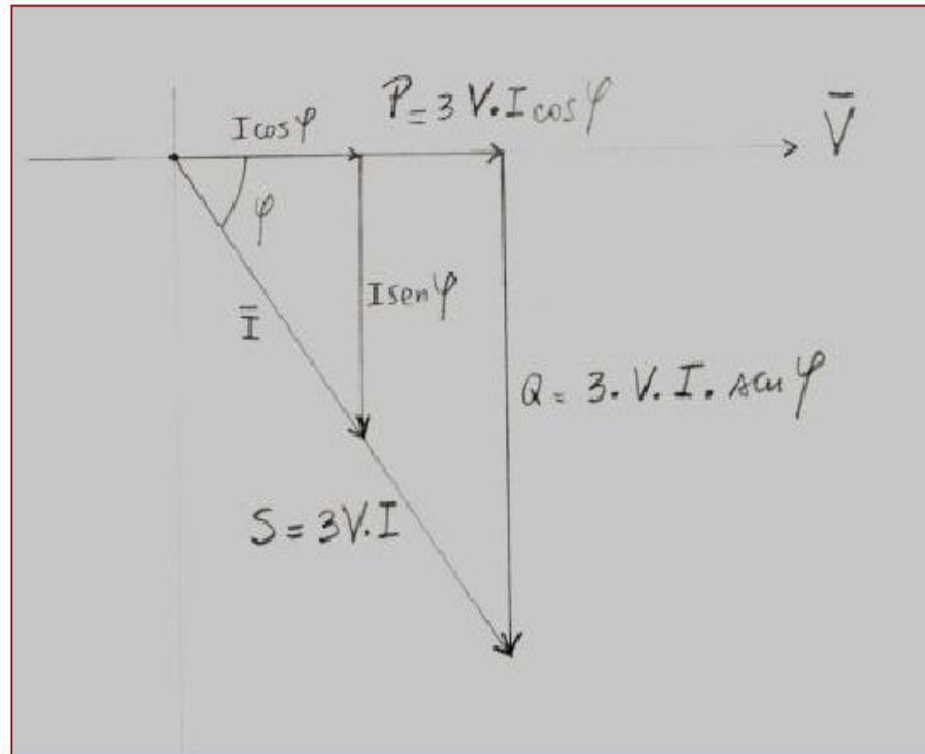
En un circuito trifásico equilibrado la potencia activa (P), reactiva (Q) y aparente (S) se expresan como:

$$P = 3VI \cos \varphi \quad Q = 3VI \sin \varphi$$

$$S = 3VI = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

A continuación presentamos el diagrama vectorial de potencias, Fig. 13 para una carga inductiva:

Figura 13. Diagrama vectorial de potencias



Fuente: WILDI, Theodore. Sistemas de Transmisión de Potencia Eléctrica. Chicago: Limusa, 1995. p. 38.

Donde,

- V , es la tensión fase-neutro
- I , es la corriente de fase
- $I_a = I \cos \varphi$, es la componente activa de la corriente, componente de la corriente en fase con la tensión
- $I_r = I \sin \varphi$, es la componente reactiva de la corriente, componente de la corriente desfasada 90° de la tensión.

En este diagrama vectorial se puede apreciar claramente que, para una potencia activa (P) dada, la corriente (I) y la potencia aparente (S) son mínimas cuando el ángulo de desfase es igual a 0 ($\varphi = 0$) o lo que es equivalente cuando el $\cos \varphi = 1$.

- Definición del Factor de Potencia

El factor de potencia (FP) como el cociente entre la potencia activa y la potencia aparente:

$$FP = \frac{P}{S} \cong \cos \varphi$$

La igualdad entre el FP y el $\cos \varphi$ es válida para sistemas sinusoidales puros, no así cuando existe distorsión armónica en la instalación.

A continuación presentamos un cuadro con valores aproximados del factor de potencia para las cargas más comunes:

Tabla 3. Factor de potencia para cargas comunes

Aparato	Carga	$\cos \varphi$
Motor asíncrono	0%	0,17
	25%	0,55
	50%	0,73
	75%	0,80
	100%	0,85
Lámparas incandescentes		1
Lámparas fluorescentes		0,5
Lámparas de descarga		0,4 a 0,6
Hornos de resistencia		1
Hornos de inducción		0,85
Máquinas de soldar por resistencia		0,8 a 0,9
Soldadora de arco monofásica		0,5
Soldadora de arco con transformador-rectificador		0,7 a 0,9
Hornos de arco		0,8

Fuente: WILDI, Theodore. Sistemas de Transmisión de Potencia Eléctrica. Chicago: Limusa, 1995. p. 39.

- Causas de un bajo factor de potencia

Las principales causas de un bajo factor de potencia en las instalaciones eléctricas de baja tensión son:

- Motores eléctricos asíncronos sobredimensionados que operan con poca carga o en vacío.
- Transformadores operando con poca carga o en vacío.
- Lámparas fluorescentes o de descarga no compensadas.

- Líneas de transmisión

Una línea de transmisión que lleva potencia eléctrica disipa calor, debido a la resistencia de sus conductores. Por lo tanto, actúa como una resistencia que, en algunos casos, tiene muchos kilómetros de largo.

La línea de transmisión también funciona como una inductancia, debido a que cada conductor está rodeado por un campo magnético, el cual también alarga la longitud total de la línea.

Por último, la línea de transmisión se comporta como un capacitor, actuando los conductores como sus placas, más o menos separadas.

La resistencia, inductancia y capacitancia distribuidas uniformemente a lo largo de una línea de transmisión existiendo el campo magnético alrededor de los conductores, lado a lado, con el campo eléctrico creado por la diferencia de potencial creado entre ellos. Imagine una línea de transmisión como está constituida por miles de resistores, inductores y capacitores elementales.

En el trabajo de alta frecuencia, este es precisamente el circuito que tiene que usarse para explicar el funcionamiento de una línea de transmisión. Afortunadamente, a las frecuencias bajas de 50Hz ó 60Hz, la mayoría de las líneas se pueden simplificar de modo que abarquen una inductancia, una resistencia y un capacitor por cada fase.¹

¹ WILDI, Theodore. Sistemas de Transmisión de Potencia Eléctrica. Chicago: Limusa, 1995. p. 30.

3.2.3 Práctica # 3 Angulo de Fase y Caída de Voltaje entre Transmisor y Receptor.

- Objetivos

- Regular el voltaje del extremo receptor.
- Observar el ángulo de fase entre los voltajes en el extremo transmisor y el receptor de la línea de transmisión.
- Observar la caída de voltaje, cuando los voltajes del extremo transmisor y receptor tienen la misma magnitud.

- Materiales

- 1 Modulo de simulación de líneas trifásicas
- 1 Multímetro digital
- 1 Analizador de redes (Fluke)
- 1 Modulo de resistencias
- 1 Modulo de capacitancia

- Preinforme

- Que sucederá cuando se conectan una serie de capacitores al final de una línea de transmisión.
- Si una línea de transmisión fuera puramente resistiva, ¿sería posible elevar el voltaje del extremo receptor, usando capacitores estáticos?. Explique.
- ¿Que componentes deben satisfacer las cargas capacitivas en las cargas mas comunes?

- Practica

- Usando una carga resistiva trifásica, ajuste el voltaje de alimentación a 200 *volts* se debe mantener constante por el resto del experimento. Aumente la carga resistiva por pasos, manteniendo balanceadas las tres fases. Tomar lecturas E, W, var en la carga y Angulo de fase entre E_1 y E_2 .

• carga resistiva

- Conecte una carga capacitiva trifásica balanceada, en paralelo con la carga resistiva. Repita el procedimiento anterior, pero para cada carga resistiva ajuste la carga capacitiva de modo que el voltaje de la carga, E_2 , este tan próximo como sea posible a 200 *volts* (E_1 debe mantenerse constante a 200 *volts*).

- carga resistiva + carga capacitiva
- Informe
- Con los datos obtenidos en la práctica complete la tabla 3.

Tabla 4. Angulo de fase con carga resistiva

CARGA	E_1 (V)	W_1 (kW)	var_1 (kVARS)	E_2 (V)	Angulo A V ($^\circ$)	Angulo B V ($^\circ$)	Angulo C V ($^\circ$)	Angulo A A - V ($^\circ$)	Angulo B A - V ($^\circ$)	Angulo C A - V ($^\circ$)	Capacitores MFD
sin carga											
600 Ohm 100millas											
Carga máx. 100millas											
600 Ohm 100millas											
Carga máx. 100millas											

- Marco Teórico de la practica

Ya se comprobó que una carga resistiva o inductiva, en el extremo de una línea de transmisión, produce una caída de voltaje muy grande, que no se toleraría bajo condiciones prácticas. Los motores, relevadores, y luces eléctricas solo trabajan en condiciones estables de voltaje, cercanas al potencial para el cual están diseñados estos dispositivos.

Por lo tanto, se debe regular el voltaje en el extremo receptor de la línea de transmisión, de modo que se mantenga tan constante como sea posible. Un procedimiento que puede resultar positivo es conectar los capacitores al final de la línea, porque como ya se ha visto en los experimentos anteriores, estos elevan el voltaje considerablemente. De hecho, esta es una manera mediante la cual se regula el voltaje en el extremo receptor, en algunos ejemplos prácticos. Los capacitores estáticos se conectan y desconectan durante el día, y se ajusta su valor para mantener constante el voltaje en el extremo receptor.

Para las cargas puramente inductivas, los capacitores deben entregar potencia reactiva igual a la consumida por la carga inductiva. Esto produce un efecto de resonancia en paralelo a la cual, de hecho, la potencia reactiva que requiere la inductancia la suministra la capacitancia, no así la línea de transmisión.

Para las cargas que consumen tanto potencia real como reactiva (que son las más comunes) los capacitores deben ser tales que compensen primero, la componente inductiva de la carga y, segundo, la componente resistiva.

- Diagramas de montaje

Figura 14. Carga resistiva p3

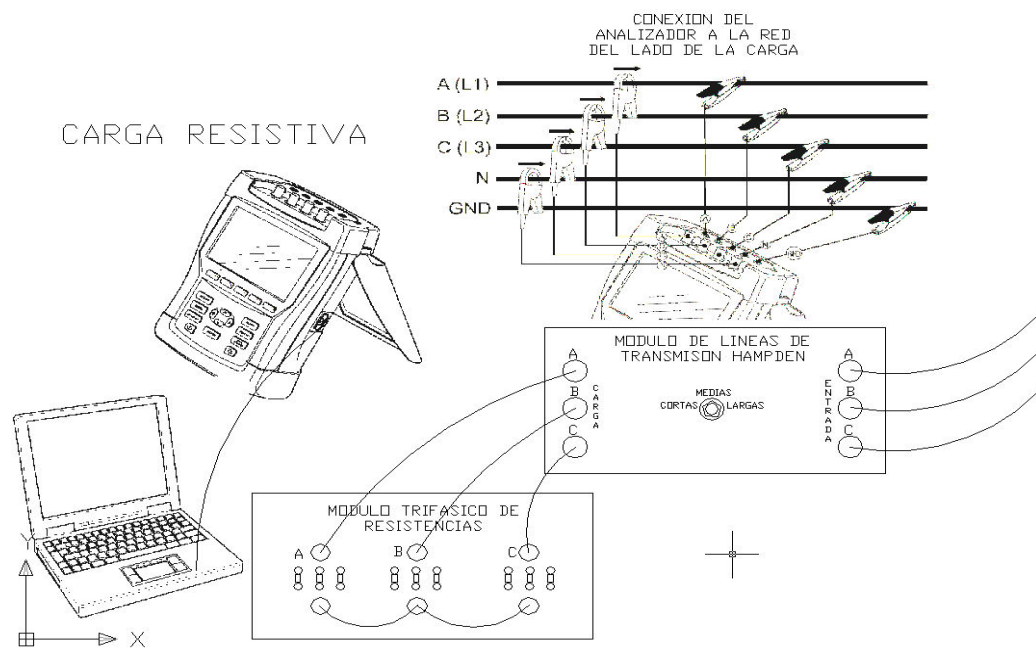


Figura 15. Carga capacitiva practica # 3

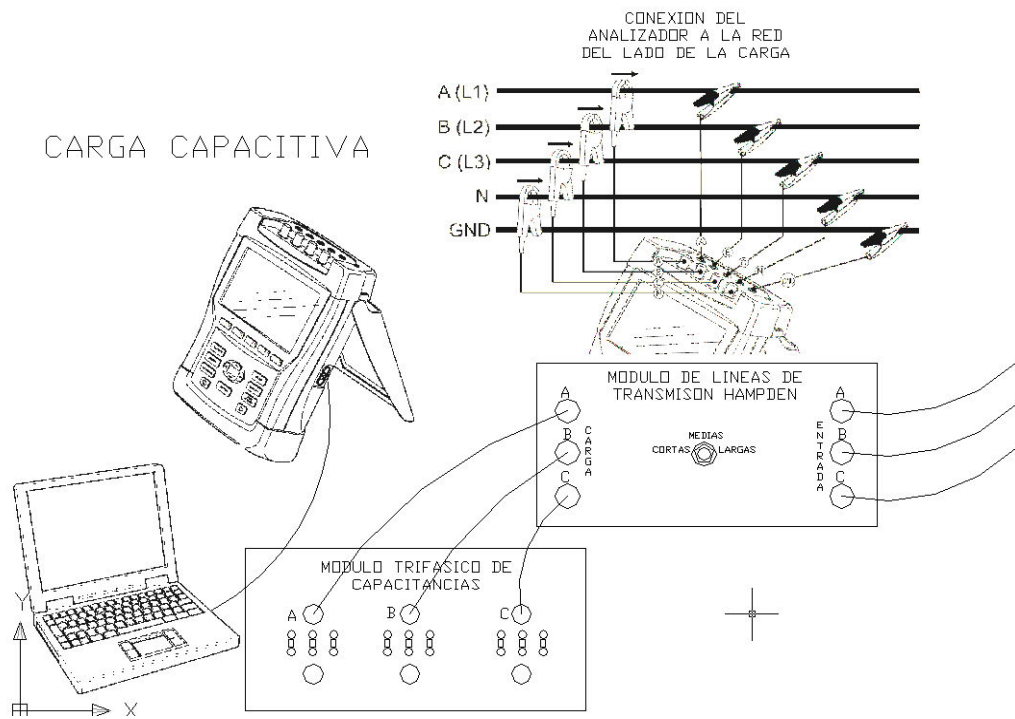


Figura 16. Carga resistiva + carga capacitiva

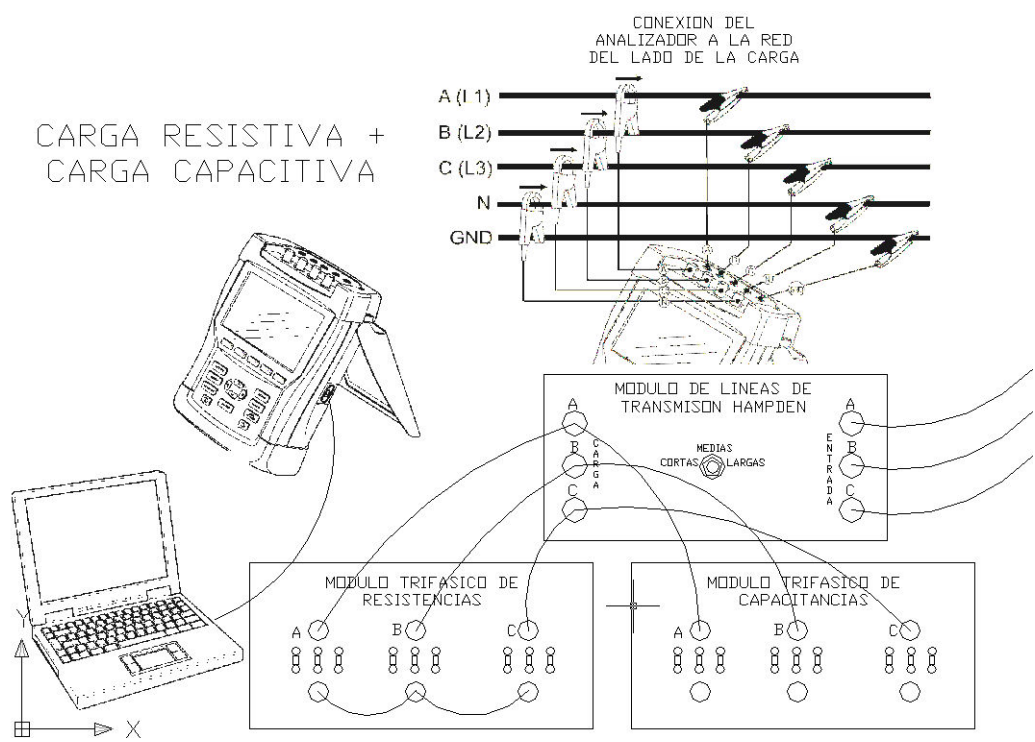
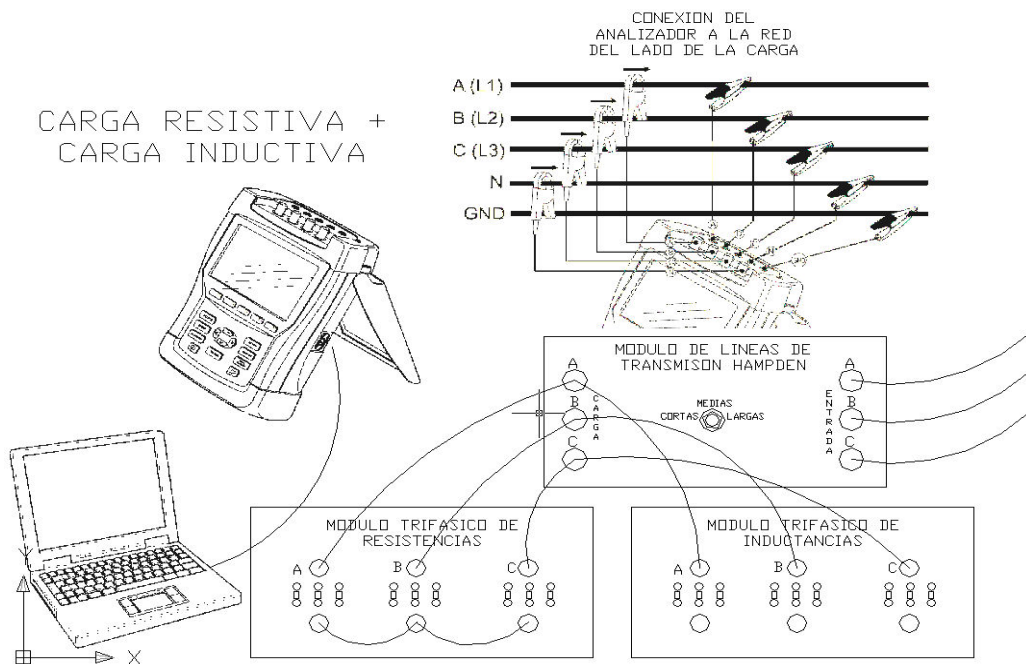


Figura 17. Carga resistiva + carga inductiva



3.3. GUIAS DESARROLLADAS

3.3.1 Práctica # 1, Análisis de Relación de Tensiones y Corrientes en el modelo de líneas de Transmisión Medias.

- Objetivos

- Aterrizarle al estudiante el concepto del modelo de líneas de transmisión medias antes de empezar a usar el modulo de líneas Hampden.
- Obtener la relación de tensiones y corrientes del modulo hampden.
- Obtener los parámetros del modelo de líneas de transmisión medias.

- Materiales

- (1) Modulo de líneas de transmisión
- (3) Multímetros
- (2) juego de cables medianos

- Preinforme

○ ¿Cuáles son los 4 parámetros que afectan la real capacidad de una línea de transmisión para cumplir su función como parte de un sistema de potencia?

R/ Una línea de transmisión posee 4 parámetros fundamentales a la hora de medir su desempeño dentro de un sistema de potencia estos son:

- Resistencia
- Inductancia
- Capacitancia
- Conductancia

○ ¿Por qué generalmente la conductancia no es tomada en cuenta?

R/ La conductancia toma en cuenta las corrientes de fuga en los aisladores de líneas aéreas y a través del aislamiento de los conductores, no se considera debido a que entre conductores de una línea aérea la fuga de corriente llega a ser mínima y por esto es despreciable.

Otra razón por la que se desprecia la conductancia es que no hay una buena forma de tomarla en cuenta porque es bastante variable por las condiciones atmosféricas.

○ ¿Cómo se representaría el modelo de una línea de transmisión corta?

R/ En una línea de transmisión corta la capacitancia en derivación es tan pequeña que se puede omitir por completo con una pérdida de exactitud pequeña y se tendría solo en consideración la R y la L en serie para la longitud total de la línea.

○ ¿De que dependen los parámetros L y C en el modelo pi de una línea de transmisión media?

R/ Estos parámetros dependen básica y directamente de las características de los conductores, además de la disposición física del diseño de la línea.

○ Relacione las longitudes en las cuales se clasifican las líneas cortas, medias y largas.

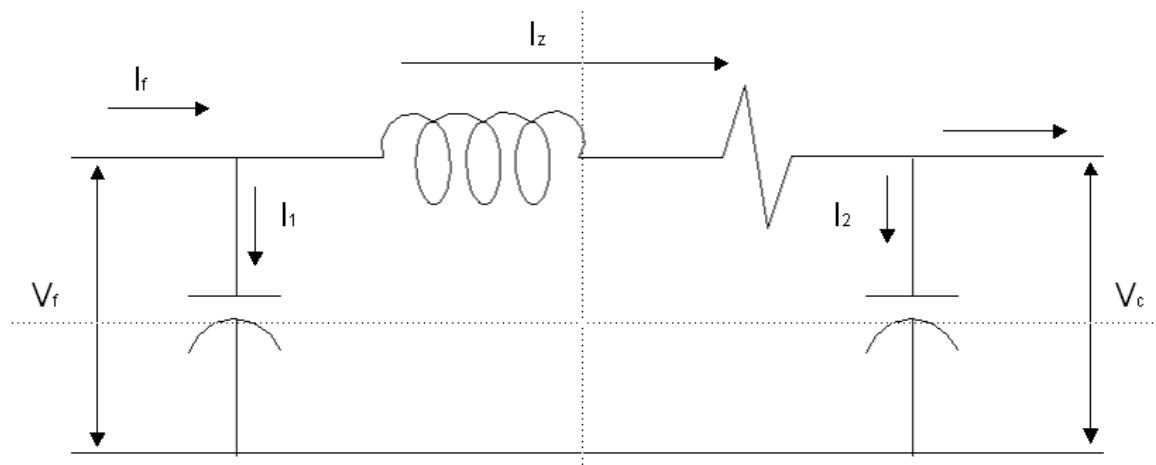
R/

- Líneas cortas hasta 80km (50 millas)
- Líneas medias de 80km (50 millas) hasta 240km (150 millas)
- Líneas largas mas de 240km (150 millas)

Tabla 5. Resultados de la práctica

	Vf	Vc	If(mA)	P
100 millas	209	212	2.84	4
200 millas	210	214	32.3	6
300 millas	210	215	44.6	8

Figura 18. Diagrama de una línea media



○ Cálculos

- $$I_f = V_f * \frac{Y}{2} + V_c * \frac{Y}{2} + I_c$$
- $$V_f = V_c + \left(V_c \frac{Y}{2} + I_c \right) * Z$$
- $$X_c = \frac{1}{j\omega C}$$
- $$X_L = j\omega L$$

Esta información esta relacionada directamente con las características y disposiciones físicas del diseño de la línea.

■	$0.00284 = 209 * \frac{Y}{2} + 212 * \frac{Y}{2_c}$	}	100 Millas
	$0.00284 = 421 * \frac{Y}{2}$		
	$\frac{Y}{2} = 6.74 * 10^{-6}$		
■	$0.0323 = 210 * \frac{Y}{2} + 214 * \frac{Y}{2_c}$	}	200 Millas
	$0.0323 = 424 * \frac{Y}{2}$		
	$\frac{Y}{2} = 7.6 * 10^{-5}$		
■	$0.0446 = 210 * \frac{Y}{2} + 215 * \frac{Y}{2_c}$	}	300 Millas
	$0.0446 = 425 * \frac{Y}{2}$		
	$\frac{Y}{2} = 0.1 * 10^{-4}$		

3.3.2 Práctica # 2 Análisis de potencia activa y potencia reactiva.

- Objetivos

- Interpretar el significado de energía positiva, negativa, real y positiva.
- Observar el flujo de la energía real y de la reactiva, en los circuitos trifásicos.

- Materiales

- (1) Modulo de resistencia
- (1) Modulo de inductancia
- (1) Modulo de capacitancia
- (1) Multímetro
- (1) Modulo del motor de inducción
- (1) Analizador de calidad de Potencia Fluke

- (1) Juego de cables cortos
- (1) Juego de cables medianos
- (1) Juego de cables largos

- Preinforme

- El significado de la potencia activa es bien importante debido a que esta es la que finalmente ejecutara el trabajo convirtiéndose en potencia mecánica, calor o etc.
- La potencia reactiva posee un significado un poco mas amplio ya que su función básica que es crear los campos magnéticos para el funcionamiento de cargas inductivas las cuales absorben esta potencia para ese fin, además así poder entregar potencia activa en movimiento (por ejemplo como en los motores); es de aclarar que esta potencia también puede presentarse en cargas capacitivas en la carga y descarga de un capacitor.
- Se debe tener en claro que una carga 100% resistiva consume solamente potencia activa debido a que no necesita potencia reactiva para generar campos magnéticos porque la gran mayoría es convertida en calor.
- Una carga inductiva absorbe potencia reactiva debido a que necesita generar el campo magnético por el cual va a pasar y se va a transmitir la potencia activa, esto se puede ilustrar como que la potencia activa(W) pasan por un puente formado por la reactiva(VAR) hasta ser consumida por la carga. Un capacitor en su funcionamiento de almacenar energía, proporciona reactivos en sistemas de potencia que estén cortos porque existe alguna industria que absorbe demasiados reactivos y compensa la comunión que debe existir entre ambas potencias.

Figura 19. Simulación a 500 m

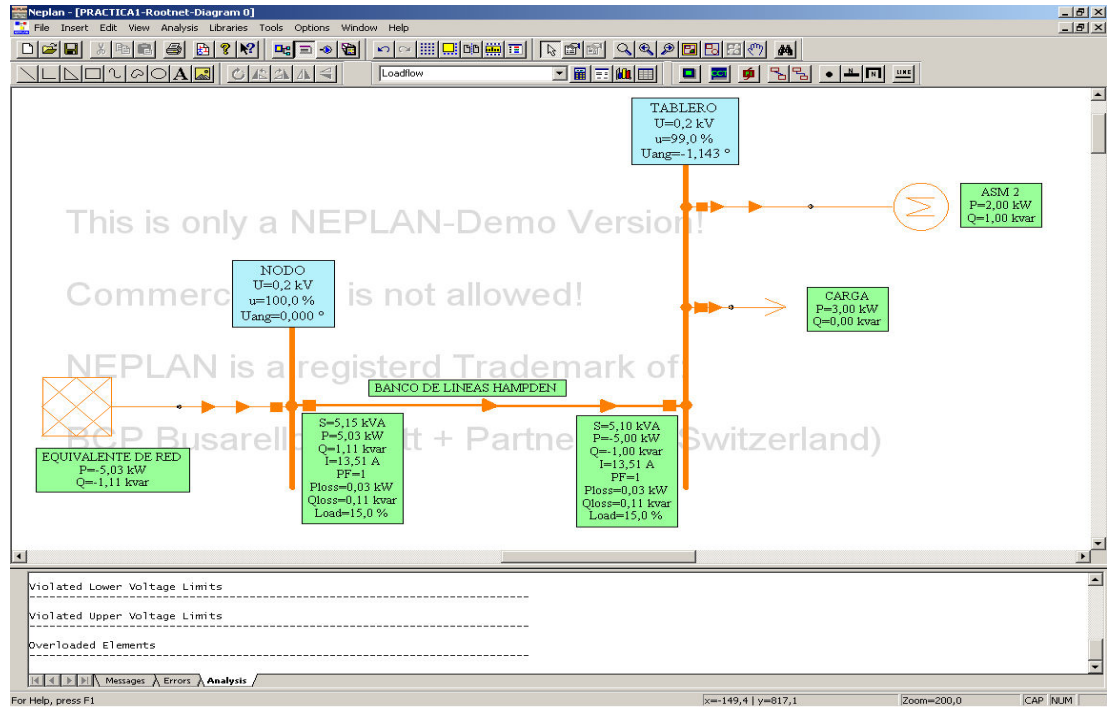
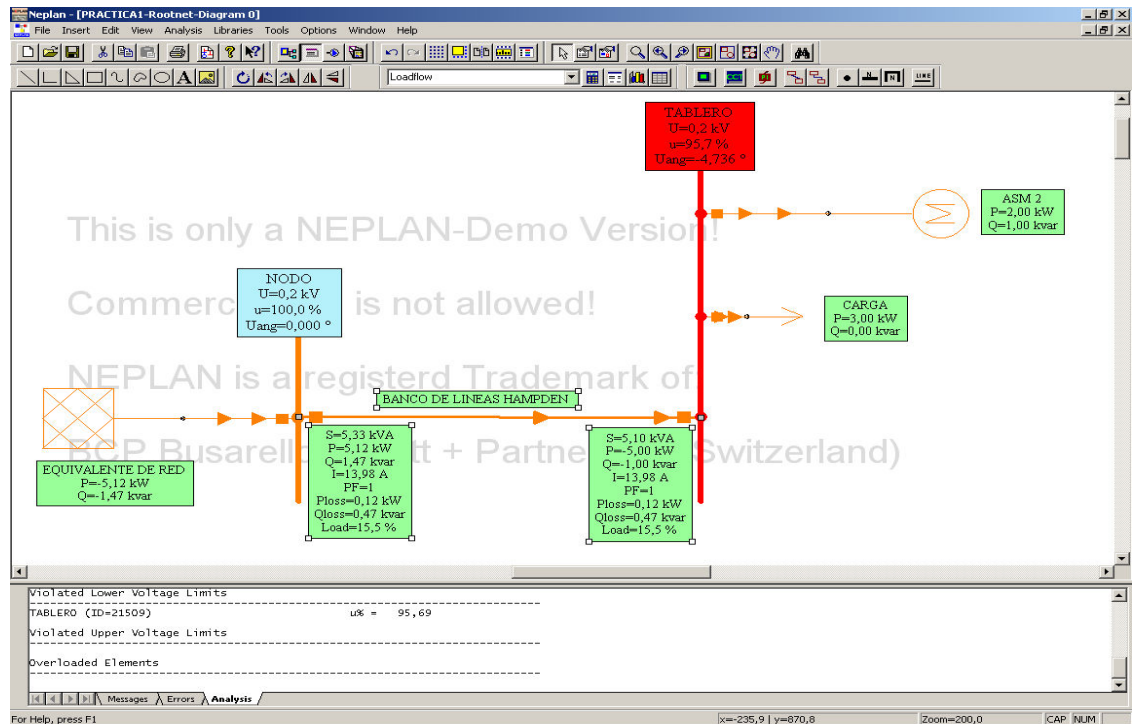


Figura 20. Simulación a 1Km



Aquí podemos observar que al aumentar la distancia de la línea aparecieron problemas de regulación en el tablero de distribución.

- Ejecución de la Practica
 - Montaje de todos los componentes (Banco de líneas, Carga, Analizador de redes Fluke, PC).
 - Carga Resistiva

Figura 21. Conexión del módulo

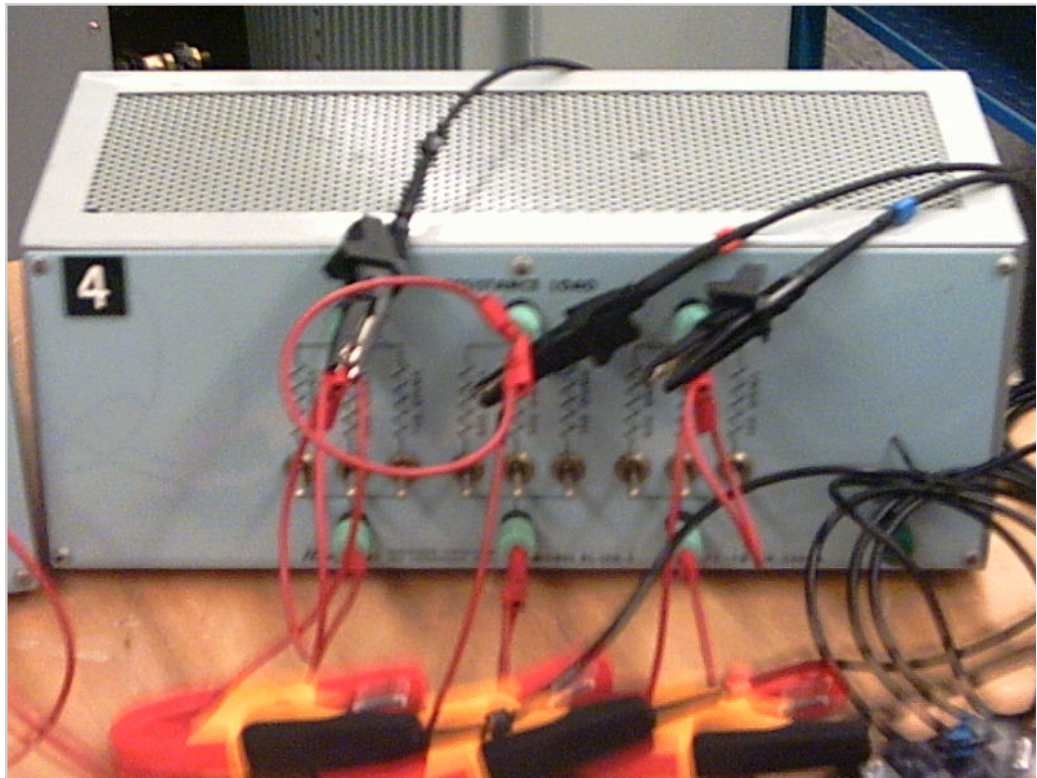


Figura 22. Montaje de la práctica carga resistiva



Figura 23. Montaje de la práctica carga capacitiva



Figura 24. Montaje de la práctica carga inductiva



Figura 25. Montaje de la práctica con motor de inducción



- Flujo de Potencia y Regulación de Voltaje de una Línea de Transmisión simple.

- Objetivos

- Observar el flujo de potencia real y reactiva en una línea de transmisión trifásica, con cargas pasivas, conocidas.
- Observar la regulación de voltaje en el extremo receptor, como una función del tipo de carga.

- Materiales

- Modulo de simulación de líneas trifásicas (1)
- Multímetro digital (1)
- Analizador de redes (Fluke) (1)
- Modulo de capacitancia (1)
- Motor de inducción trifásico (1)

- Preinforme

- Explique porque una línea de transmisión se comporta como una resistencia, inductancia y capacitor.

Resistencia:

Una línea de transmisión que lleva potencia eléctrica disipa calor, debido a la resistencia de sus conductores, por eso se comporta como una resistencia que en algunos casos tiene muchos Km. de largo.

Inductancia:

Se comporta así ya que cada conductor está rodeado por un campo magnético, el cual también alarga la longitud total de la línea.

Capacitor:

Se comporta de esta manera ya que al estar los conductores separados cierta distancia se asemejan a las placas de un capacitor.

- Diga cuáles son las principales características en las líneas cortas, medias y largas.

Cortas:

De bajo voltaje, son principalmente resistivas, las reactancias inductivas y capacitivas pueden ser insignificantes.

Medias:

Operan a 100kV, se caracterizan por tener resistencia y reactancia capacitiva insignificantes comparadas con la reactancia inductiva.

Largas:

Tienen una reactancia capacitiva e inductiva apreciable.

▪ ¿Que es la regulación de voltaje y para que se utiliza en los sistemas de transmisión de energía?

La regulación de tensión consiste en evitar las variaciones de tensión que se detectan en puntos receptores de un sistema de transmisión o distribución de energía.

El problema de la regulación difiere según se trate de una red de transmisión o una red de distribución.

En una red de distribución interesa mantener la tensión lo mas constante posible.

Si la tensión es demasiado alta se originan los siguientes problemas:

La vida útil de artefactos se deteriora, produciéndose en algunos casos daños irreparables.

En redes de transmisión se acepta una fluctuación considerable ($\pm 7,5\%$ del valor nominal), ya que no existen aparatos de utilización directa conectados a ella y en baja tensión, en alimentadores o subalimentadores la caída de tensión no debe exceder más del 3% del valor nominal, siempre que la caída de tensión en el punto más desfavorable de la instalación, no exceda el 5% de dicha tensión. De todas formas se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

Una tensión muy elevada puede dañar el aislamiento de los equipos o saturar los transformadores.

Actualmente la solución al problema de regulación se hace más complicada, debido a la complejidad y gran desarrollo de las redes de distribución de energía.

Es conveniente por lo tanto regular localmente, en los diversos centros de consumo, el nivel de voltaje.

Se dispone para ello de los siguientes métodos:

Conexión de potencia reactiva.

Modificación de la reactancia.

Regulación de voltaje adicional (variación de taps).

- Desarrollo

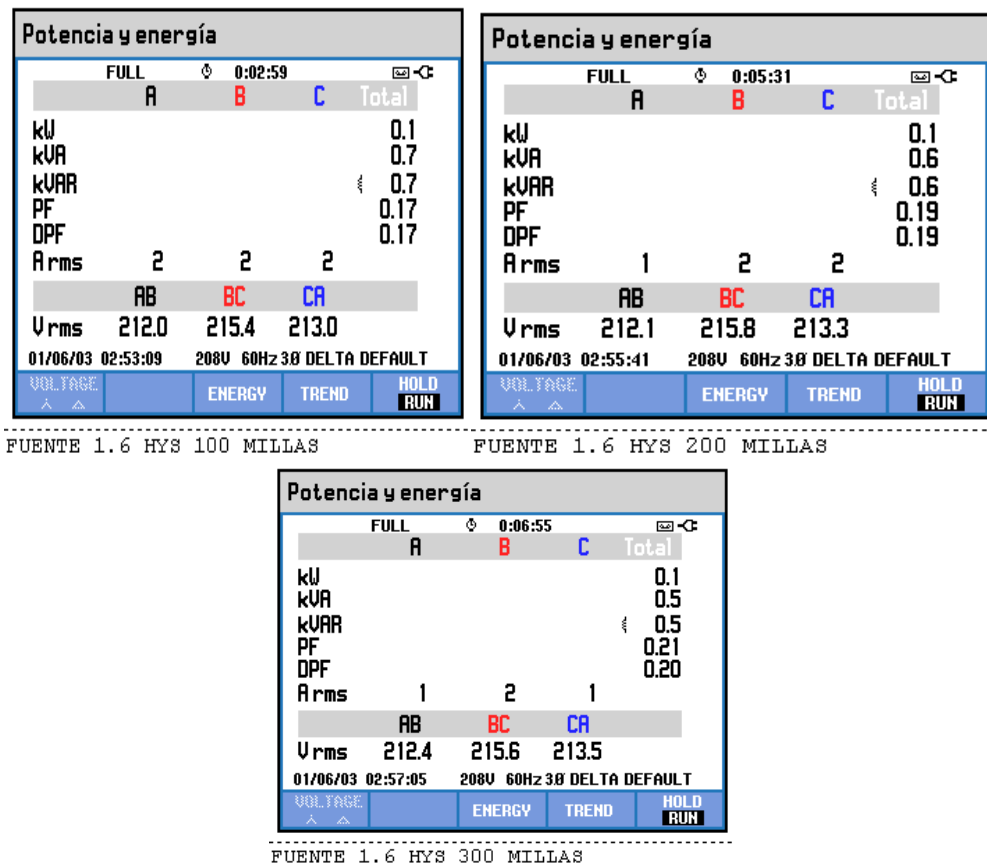
- Monte el esquema a continuación, con una fuente de voltaje variable analice el comportamiento de la potencia activa y reactiva cerca de la fuente y luego cerca de la carga.

Figura 26. Montaje carga inductiva



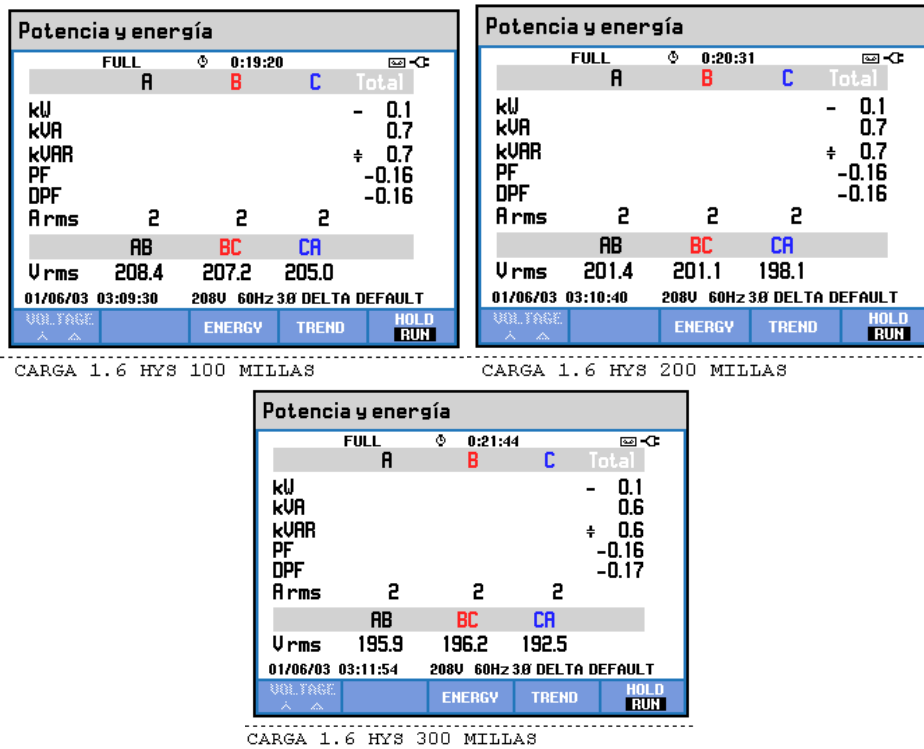
- Resultados FLUKE
- Carga: 1.6HYS
- Línea corta, media y larga

Figura 27. Medición en la fuente



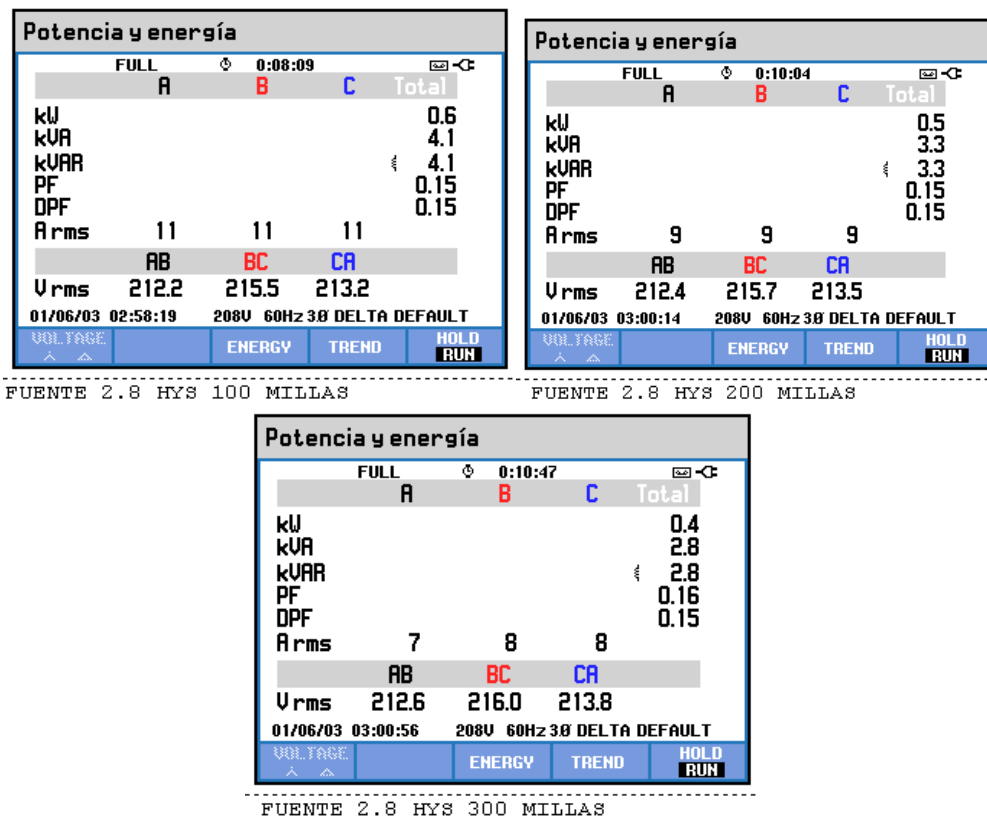
- Carga: 1.6HYS
- Línea corta, media y larga

Figura 28. Medición en la carga



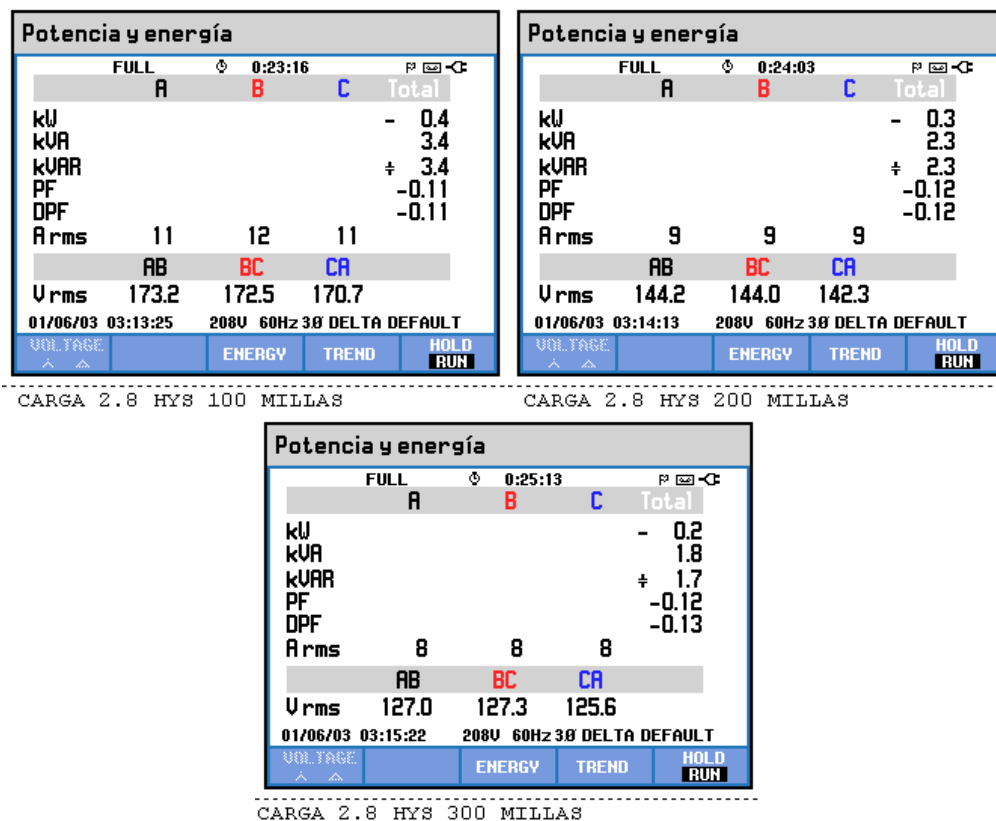
- Carga: 2.8HYS
- Línea corta, media y larga

Figura 29. Medición en la fuente 2.8 HYS



Medición en la carga
Carga: 2.8HYS
Línea corta, media y larga

Figura 30. Medición en la carga 2.8 HYS



- Mida potencia activa, reactiva y voltaje en cada caso, por medio de la fuente variable trate de mantener constante el voltaje en la cargas (regulación de voltaje):
 - Inductivas
 - Motor de inducción trifásico



Figura 31. Regulación de voltaje



- Observar que sin carga el voltaje de entrada al modulo es igual a la salida.

Fuente: 182v
Salida: 182V
Distancia: 100 millas

Figura 32. Regulación de voltaje sin carga

Potencia y energía				
FULL		0:01:38	P  	
A		B	C	Total
kW				0.0
kVA				0.1
kVAR				÷ 0.1
PF				---
DPF				---
A rms	0	0	0	
AB		BC	CA	
V rms	182.1	181.4	179.6	
01/06/03 03:36:51 208V 60Hz 3Ø DELTA DEFAULT				
VOLTAGE		ENERGY	TREND	HOLD RUN

DATOS SIN CARGA
FUENTE 182V
100MILLAS

- Se coloca una carga inductiva de 1.6HYS

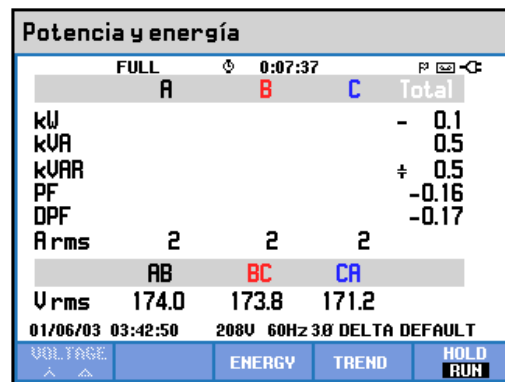
Fuente: 180v

Carga: 174v

Potencia reactiva: 0.5 kVAR

Distancia: 100 millas

Figura 33. Regulación de voltaje 1.6HYS



1.6HYS
FUENTE 180V
100MILLAS



- Se deja la misma carga pero se regula el voltaje desde la fuente para garantizar el voltaje en la carga.

Fuente: 187v

Carga: 181v

Potencia reactiva: 0.5 kVAR

Figura 34. Regulación de voltaje desde la fuente 1.6HYS

Potencia y energía				
FULL		0:04:04	P  	
	A	B	C	Total
kW				- 0.1
kVA				0.5
kVAR				± 0.5
PF				-0.17
DPF				-0.17
Arms	2	2	2	
	AB	BC	CA	
Vrms	181.0	180.8	178.2	
01/06/03 03:39:18 208V 60Hz 3Ø DELTA DEFAULT				
VOLTAGE	ENERGY		TREND	HOLD RUN

REGULACIÓN DE VOLTAJE

1.6HYS

FUENTE 187V

100MILLAS

Se coloca una carga inductiva de 2.8HYS



Fuente: 180v

Carga: 143v

Potencia reactiva: 2.3kVAR

Distancia: 100 millas

Figura 35. Regulación de voltaje desde la fuente 2.8 HYS

Potencia y energía				
FULL		0:10:11	P  	
	A	B	C	Total
kW				- 0.3
kVA				2.3
kVAR				± 2.3
PF				-0.12
DPF				-0.12
Arms	9	9	9	
	AB	BC	CA	
Vrms	143.9	144.0	142.0	
01/06/03 03:45:24 208V 60Hz 3Ø DELTA DEFAULT				
VOLTAGE	ENERGY		TREND	HOLD RUN

2.8HYS

FUENTE 180V

100MILLAS

- Se deja la misma carga pero se regula el voltaje desde la fuente para garantizar el voltaje en la carga.

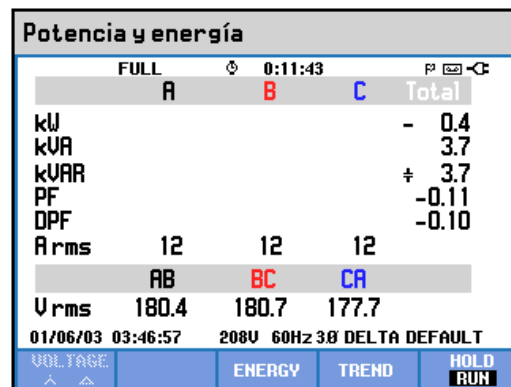
Fuente: 223v

Carga: 180v

Potencia reactiva: 3.7 kVAR

Distancia: 100 millas

Figura 36. Regulación de voltaje desde la fuente 223v



REGULACIÓN DE VOLTAJE
2.8HYS
FUENTE 223V
100MILLAS

- Observar que sin carga el voltaje de entrada al modulo es igual a la salida.

Fuente: 181v

Salida: 183V

Distancia: 200 millas

Figura 37. Regulación de voltaje 200 millas

Potencia y energía				
FULL 0:13:14				
	A	B	C	Total
kW				0.0
kVA				0.1
kVAR				÷ 0.1
PF				--
DPF				--
Arms	0	0	0	
	AB	BC	CA	
Vrms	183.1	182.3	180.2	
01/06/03 03:48:27 208V 60Hz 3Ø DELTA DEFAULT				
VOLTAGE		ENERGY	TREND	HOLD RUN

DATOS SIN CARGA
FUENTE 181V
200MILLAS

Se coloca una carga inductiva de 1.6HYS

Fuente: 181v

Carga: 168v

Potencia reactiva: 0.5 kVAR

Distancia: 200 millas

Figura 38. Regulación de voltaje 200 millas, 1.6 HYS

Potencia y energía				
FULL 0:14:21				
	A	B	C	Total
kW				- 0.1
kVA				0.5
kVAR				÷ 0.5
PF				-0.17
DPF				-0.17
Arms	2	2	2	
	AB	BC	CA	
Vrms	168.8	169.7	166.2	
01/06/03 03:49:34 208V 60Hz 3Ø DELTA DEFAULT				
VOLTAGE		ENERGY	TREND	HOLD RUN

1.6HYS
FUENTE 181V
200MILLAS

- Se deja la misma carga pero se regula el voltaje desde la fuente para garantizar el voltaje en la carga.

Fuente: 194v

Carga: 181v

Potencia reactiva: 0.5 kVAR

Distancia: 200 millas

Figura 39. Regulación de voltaje desde la fuente, 200 millas, 1.6 HYS

Potencia y energía				
	FULL	0	0:18:18	P 0.00
	A	B	C	Total
kW				- 0.1
kVA				0.5
kVAR				± 0.5
PF				-0.17
DPF				-0.17
Arms	2	2	2	
	AB	BC	CA	
Urms	181.0	181.7	178.1	
01/06/03 03:53:31 208V 60Hz 3Ø DELTA DEFAULT				
VOLTAGE	ENERGY	TREND	HOLD	RUN

REGULACIÓN DE VOLTAJE

1.6HYS

FUENTE 194V

200MILLAS

- Se coloca una carga inductiva de 2.8HYS

Fuente: 194v

Carga: 130v

Potencia reactiva: 1.8kVAR

Distancia: 200 millas

Figura 40. Regulación de voltaje desde la fuente, 200 millas, 2.8 HYS

Potencia y energía				
FULL 0:20:56				
	A	B	C	Total
kW				- 0.2
kVA				1.9
kVAR				± 1.8
PF				-0.12
DPF				-0.12
Arms	8	8	8	
	AB	BC	CA	
Urms	130.1	130.5	129.0	
01/06/03 03:56:09 208V 60Hz 3Ø DELTA DEFAULT				
VOLTAGE	ENERGY		TREND	HOLD RUN

2.8HYS
FUENTE 194V
200MILLAS

- Se deja la misma carga pero se regula el voltaje desde la fuente para garantizar el voltaje en la carga.

Fuente: 250v
Carga: 168v
Potencia reactiva: 3.2 kVAR
Distancia: 200 millas

Figura 41. Regulación de voltaje desde la fuente 250v, 200 millas y 2.8 HYS

Potencia y energía				
FULL 0:22:34				
	A	B	C	Total
kW				- 0.3
kVA				3.2
kVAR				± 3.2
PF				-0.11
DPF				-0.11
Arms	11	11	11	
	AB	BC	CA	
Urms	168.3	168.9	166.2	
01/06/03 03:57:47 208V 60Hz 3Ø DELTA DEFAULT				
VOLTAGE	ENERGY		TREND	HOLD RUN

REGULACIÓN DE VOLTAJE
2.8HYS
FUENTE 250V
200MILLAS

- Observar que sin carga el voltaje de entrada al modulo es igual a la salida.

Fuente: 180v

Salida: 182V

Distancia: 300 millas

Figura 42. Regulación de voltaje 300 millas

Potencia y energía				
FULL 0:24:20 P 0.0				
	A	B	C	Total
kW				0.0
kVA				0.1
kVAR				÷ 0.1
PF				---
DPF				---
Arms	0	0	0	
	AB	BC	CA	
Vrms	182.9	182.3	179.9	
01/06/03 03:59:33 208V 60Hz 3Ø DELTA DEFAULT				
VOLTAG	ENERGY		TREND	HOLD RUN

SIN CARGA
FUENTE 180V
300MILLAS

- Se coloca una carga inductiva de 1.6HYS

Fuente: 180v

Carga: 163v

Potencia reactiva: 0.4 kVAR

Distancia: 300 millas

Figura 43. Regulación de voltaje desde la fuente, 300 millas, 1.6 HYS

Potencia y energía				
FULL		0:25:19	P	
	A	B	C	Total
kW				- 0.1
kVA				0.4
kVAR				± 0.4
PF				-0.17
DPF				-0.17
Arms	2	2	1	
	AB	BC	CA	
Vrms	163.8	165.0	161.2	
01/06/03 04:00:32 208V 60Hz 3Ø DELTA DEFAULT				
VOLTAGE	ENERGY		TREND	HOLD RUN

1.6HYS
FUENTE 180V
300MILLAS

- Se deja la misma carga pero se regula el voltaje desde la fuente para garantizar el voltaje en la carga.

Fuente: 200v
Carga: 180v
Potencia reactiva: 0.5 kVAR
Distancia: 300 millas

Figura 44. Regulación de voltaje desde la fuente 200v, 300 millas y 1.6 HYS

Potencia y energía				
FULL		0:26:38	P	
	A	B	C	Total
kW				- 0.1
kVA				0.5
kVAR				± 0.5
PF				-0.17
DPF				-0.17
Arms	2	2	2	
	AB	BC	CA	
Vrms	180.3	181.8	177.5	
01/06/03 04:01:51 208V 60Hz 3Ø DELTA DEFAULT				
VOLTAGE	ENERGY		TREND	HOLD RUN

REGULACIÓN DE VOLTAJE
1.6HYS
FUENTE 200V
300MILLAS

- Se coloca una carga inductiva de 2.8HYS

Fuente: 180v

Carga: 106v

Potencia reactiva: 1.2kVAR

Distancia: 300 millas

Figura 45. Regulación de voltaje desde la fuente 300 millas y 2.8 HYS

Potencia y energía				
FULL 0:27:37				
	A	B	C	Total
kW				- 0.2
kVA				1.2
kVAR				± 1.2
PF				-0.13
DPF				-0.13
Arms	7	7	6	
	AB	BC	CA	
Vrms	106.8	107.7	106.1	
01/06/03 04:02:50 208V 60Hz 3Ø DELTA DEFAULT				
VOLTAGE	ENERGY		TREND	HOLD RUN

2.8HYS

FUENTE 180V

300MILLAS

- Se deja la misma carga pero se regula el voltaje desde la fuente para garantizar el voltaje en la carga.

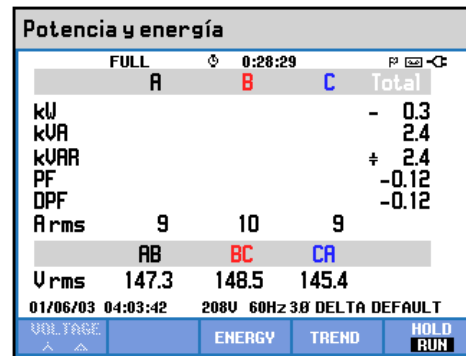
Fuente: 250v

Carga: 147v

Potencia reactiva: 2.4 kVAR

Distancia: 300 millas

Figura 46. Regulación de voltaje desde la fuente 250v, 300 millas y 2.8 HYS



REGULACIÓN DE VOLTAJE
2.8HYS
FUENTE 250V
300MILLAS

- Se coloca un Motor de inducción

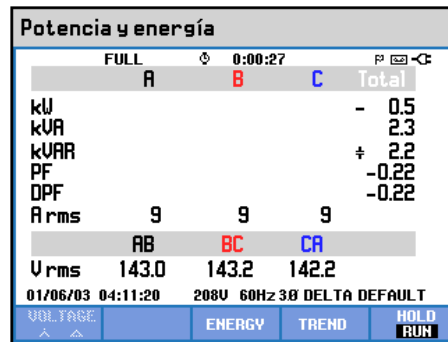
Fuente: 180v

Carga: 143v

Potencia reactiva: 2.2kVAR

Distancia: 100 millas

Figura 47. Regulación de voltaje desde la fuente carga motor



MOTOR
FUENTE 180V
100MILLAS

- Se deja la misma carga pero se regula el voltaje desde la fuente para garantizar el voltaje en la carga.

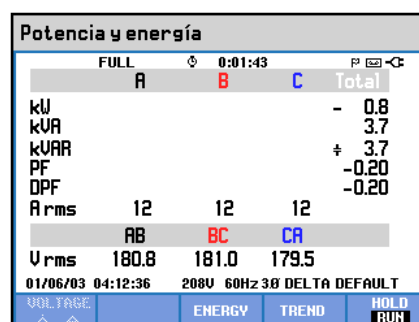
Fuente: 227v

Carga: 180v

Potencia reactiva: 3.7kVAR

Distancia: 100 millas

Figura 48. Regulación de voltaje desde la fuente carga motor, 100 millas



REGULACIÓN DE VOLTAGE
MOTOR
FUENTE 227V
100MILLAS

- Se coloca un Motor de inducción

Fuente: 180v

Carga: 119v

Potencia reactiva: 1.6kVAR

Distancia: 200 millas

Figura 49. Regulación de voltaje desde la fuente carga motor, 200 millas

Potencia y energía				
	FULL	0:03:24	P	←
	A	B	C	Total
kW				- 0.4
kVA				1.6
kVAR				÷ 1.6
PF				-0.23
DPF				-0.23
A rms	8	8	7	
	AB	BC	CA	
V rms	119.7	119.9	118.9	
01/06/03 04:14:17 208V 60Hz 3Ø DELTA DEFAULT				
VOLTAGE	ENERGY	TREND	HOLD	RUN

MOTOR
FUENTE 180V
200MILLAS

- Se deja la misma carga pero se regula el voltaje desde la fuente para garantizar el voltaje en la carga.

Fuente: 250v

Carga: 168v

Potencia reactiva: 3.1kVAR

Distancia: 200 millas

Figura 50. Regulación de voltaje desde la fuente 250v, carga motor y 200 millas

Potencia y energía				
FULL		0:04:00	P -C	
	A	B	C	Total
kW				- 0.7
kVA				3.2
kVAR				± 3.1
PF				-0.21
DPF				-0.21
Arms	11	11	11	
	AB	BC	CA	
Vrms	168.5	168.7	167.3	
01/06/03 04:14:53 208V 60Hz 3Ø DELTA DEFAULT				
VOLTAGE	ENERGY		TREND	HOLD RUN

REGULACIÓN DE VOLTAJE

MOTOR

FUENTE 250V

200MILLAS

- Se coloca un Motor de inducción

Fuente: 180v

Carga: 105v

Potencia reactiva: 1.2kVAR

Distancia: 300 millas

Figura 51. Regulación de voltaje desde la fuente carga motor, 300millas

Potencia y energía				
FULL		0:05:18	P -C	
	A	B	C	Total
kW				- 0.3
kVA				1.2
kVAR				± 1.2
PF				-0.25
DPF				-0.25
Arms	7	7	7	
	AB	BC	CA	
Vrms	105.3	105.8	105.0	
01/06/03 04:16:11 208V 60Hz 3Ø DELTA DEFAULT				
VOLTAGE	ENERGY		TREND	HOLD RUN

MOTOR

FUENTE 180V

300MILLAS

- Se deja la misma carga pero se regula el voltaje desde la fuente para garantizar el voltaje en la carga.

Fuente: 250v

Carga: 148v

Potencia reactiva: 2.4kVAR

Distancia: 300 millas

Figura 52. Regulación de voltaje desde la fuente 250v, carga motor y 300 millas

Potencia y energía				
FULL 0:06:04				
	A	B	C	Total
kW				- 0.5
kVA				2.5
kVAR				± 2.4
PF				-0.21
DPF				-0.21
A rms	9	10	9	
	AB	BC	CA	
V rms	148.6	148.9	147.6	
01/06/03 04:16:57 208V 60Hz 3Ø DELTA DEFAULT				
VOL PAGE	ENERGY		TREND	HOLD RUN

REGULACIÓN DE VOLTAJE

MOTOR

FUENTE 250V

300MILLAS

- Informe
- Calcule la potencia real y reactiva que absorbe la línea de transmisión.

Tabla 6. Desarrollo carga inductiva

CARGA	W_1 (kW)	var_1 (kVARS)	W_2 (kW)	var_2 (kVARS)	Kw de Línea	kVARS de Línea
1.6 HYS 100millas	0,1	0,7	0,1	0,7	0	0
2.8 HYS 100millas	0,6	4,1	0,4	3,4	0,2	0,7
1.6 HYS 200millas	0,1	0,6	0,1	0,7	0	-0,1
2.8 HYS 200millas	0,5	3,3	0,3	2,3	0,2	1
1.6 HYS 300millas	0,1	0,5	0,1	0,6	0	-0,1
2.8 HYS 300millas	0,4	2,8	0,2	1,7	0,2	1,1

- Calcule la regulación de voltaje de la línea de transmisión a partir de la fórmula:

$$\% \text{ de regulación} = \frac{(E_0 - E_L) \times 100}{E_0}$$

En la cual E_0 es el voltaje de circuito abierto y E_L es el voltaje bajo carga, ambos en el extremo de la carga (o receptor).

Tabla 7. Desarrollo regulación

CARGA	E_0 (V)	E_2 (V)	REGULACIÓN (%)
1.6 HYS 100millas	180	174	3,3
2.8 HYS 100millas	180	143	20,6
1.6 HYS 200millas	180	168	6,7
2.8 HYS 200millas	194	130	33,0
1.6 HYS 300millas	180	163	9,4
2.8 HYS 300millas	180	106	41,1
Motor 100millas	180	143	20,6
Motor 200millas	180	119	33,9
Motor 300millas	180	105	41,7

- Conclusiones

- Cuando la carga instalada es muy pequeña la potencia activa y reactiva es muy pequeña independiente de la longitud de la línea, esto se puede ver en el caso de la carga de 1.6 HYS.
- La potencia activa no varía en una línea corta, media o larga cuando se instala una misma carga.
- La mayor caída de potencia reactiva en las líneas se experimenta cuando se incrementa la carga y la distancia de esta.
- La regulación de voltaje es directamente proporcional a la distancia de la línea y la carga instalada en esta.
- La regulación de voltaje nos indica que porcentaje se debe incrementar el voltaje de alimentación para poder satisfacer la demanda.
- En la práctica de regulación de voltaje no se puede pasar de 250V en la alimentación ya que el módulo de simulación no está diseñado para valores superiores.

3.3.3 Practica # 3 Angulo de Fase y Caída de Voltaje entre Transmisor y Receptor.

- Objetivos

- Regular el voltaje del extremo receptor.
- Observar el ángulo de fase entre los voltajes en el extremo transmisor y el receptor de la línea de transmisión.
- Observar la caída de voltaje, cuando los voltajes del extremo transmisor y receptor tienen la misma magnitud.

- Materiales

- Modulo de simulación de líneas trifásicas (1)
- Multímetro digital (1)
- Analizador de redes (Fluke) (1)
- Modulo de resistencias (1)
- Modulo de capacitancia (1)

- Preinforme

- Que sucederá cuando se conectan una serie de capacitores al final de una línea de transmisión.

Elevan el voltaje considerablemente, con lo cual este se puede regular en el extremo receptor.

- Si una línea de transmisión fuera puramente resistiva, ¿sería posible elevar el voltaje del extremo receptor, usando capacitores estáticos?. Explique.

Si pero es difícil calcular la potencia reactiva que deben suministrar los capacitores.

- ¿Que componentes deben satisfacer las cargas capacitivas en las cargas mas comunes?

Los capacitores deben ser tales que compensen primero, la componente inductiva de la carga y, segundo, la componente resistiva.

- Practica

- Usando una carga resistiva trifásica, ajuste el voltaje de alimentación a 200 *volts* se debe mantener constante por el resto del experimento. Aumente la carga resistiva por pasos, manteniendo balanceadas las tres fases. Tomar lecturas E, W, var en la carga y Angulo de fase entre E_1 y E_2 .

Figura 53. Practica Ángulo de fase.



- Datos tomados a la salida del modulo

Figura 54. Practica Ángulo de fase datos sin carga.

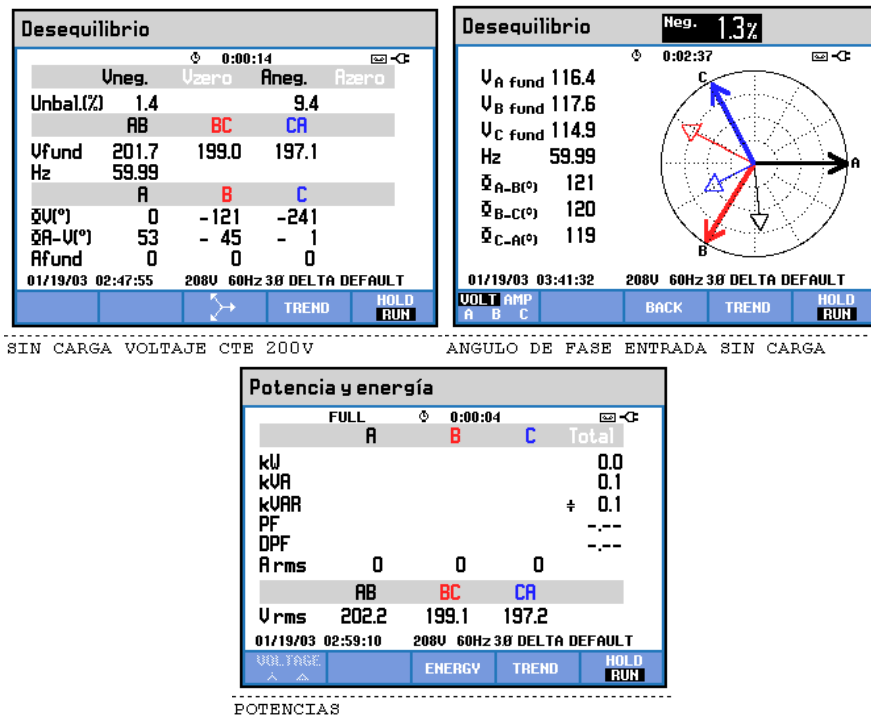


Figura 55. Practica Ángulo de fase datos carga 600ohm-100millas.

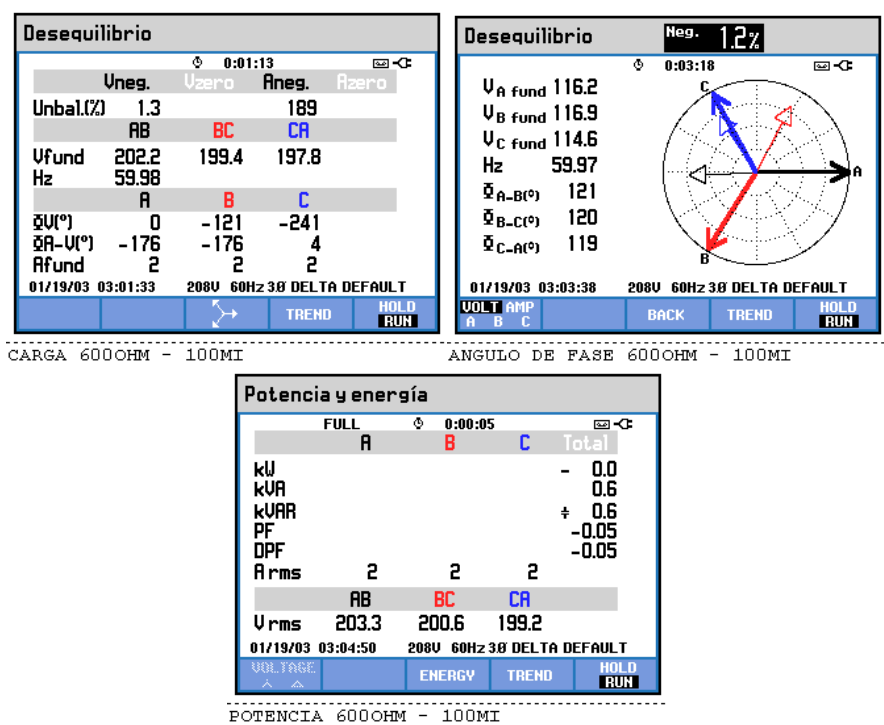
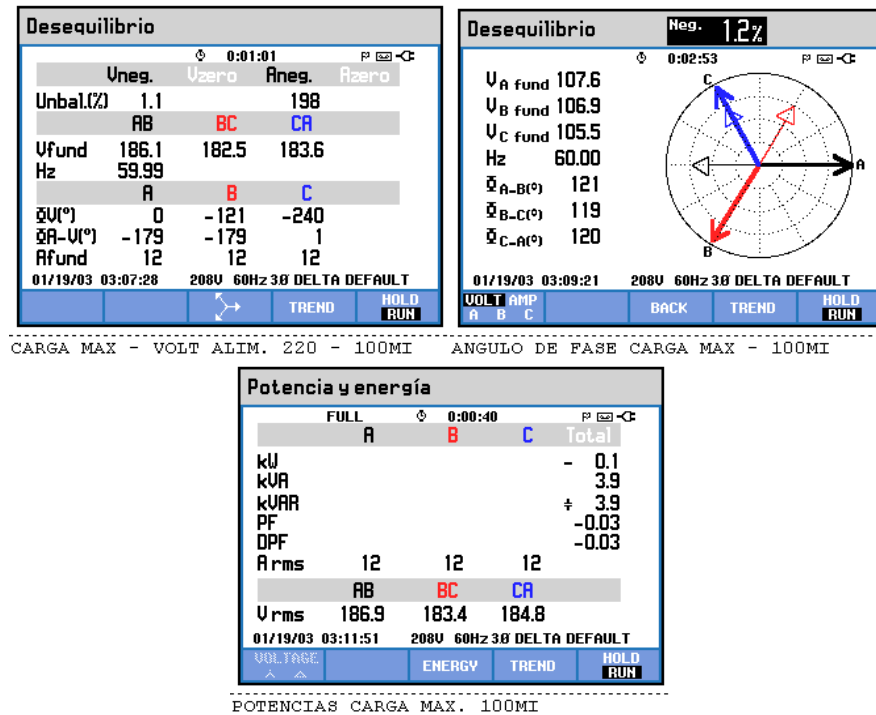


Figura 56. Practica Ángulo de fase datos carga máxima 100 millas.



- Conecte una carga capacitiva trifásica balanceada, en paralelo con la carga resistiva. Repita el procedimiento anterior, pero para cada carga resistiva ajuste la carga capacitiva de modo que el voltaje de la carga, E_2 , este tan próximo como sea posible a 200 volts (E_1 debe mantenerse constante a 200 volts).

Figura 57. Compensación Reactiva.



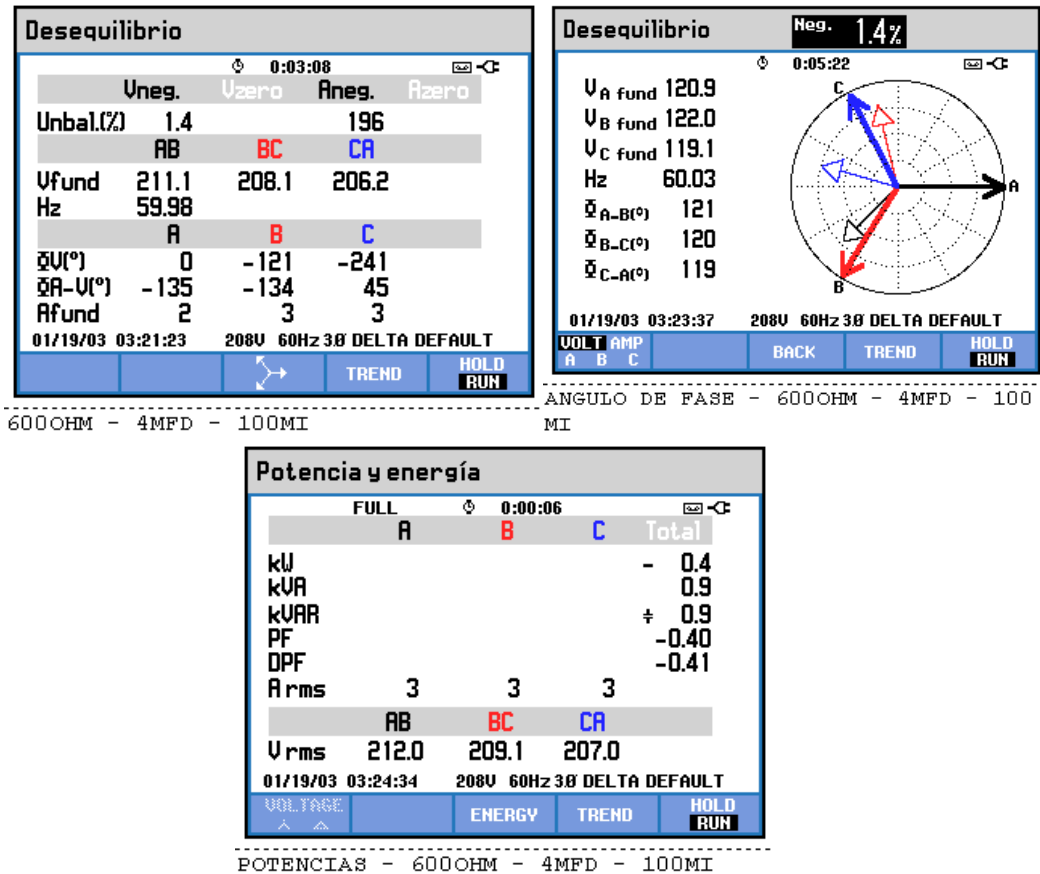
Carga: 600 Ohm

Capacitores: 4MFD

Línea: 100 millas

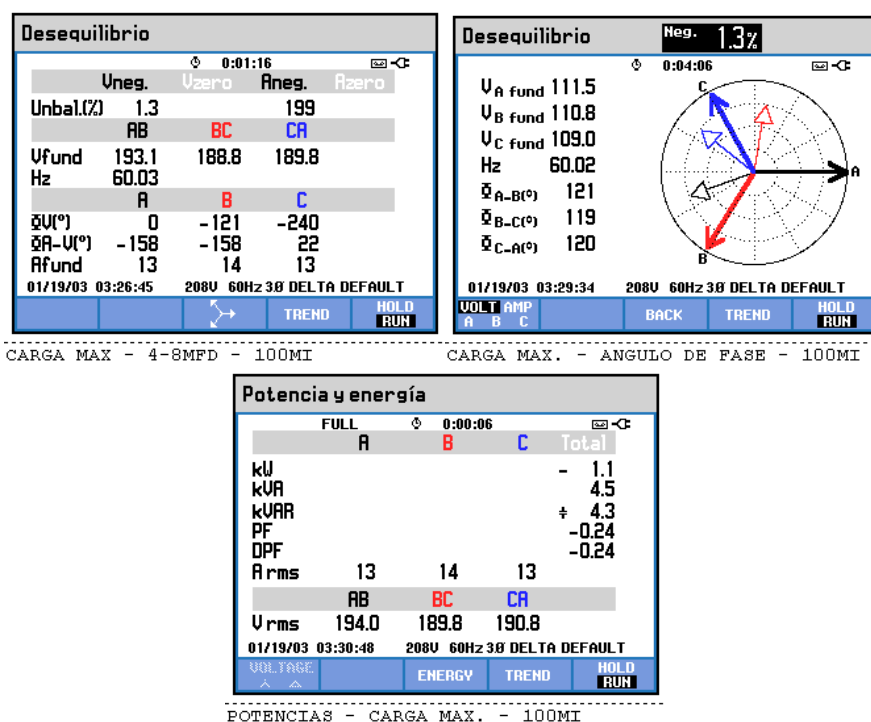
Se incrementa el voltaje comparado con la prueba sin capacitores.

Figura 58. Compensación Reactiva 4 MFD.



Carga: Máxima
 Capacitores: 4-8MFD
 Línea: 100 millas
 Se incrementa el voltaje comparado con la prueba sin capacitores.

Figura 59. Compensación Reactiva 4-8 MFD.



- Informe
- Con los datos obtenidos en la práctica complete la tabla 8.

Tabla 8. Desarrollo Angulo de fase con carga resistiva

CARGA	E ₁ (V)	W ₁ (kW)	var ₁ (kVARS)	E ₂ (V)	Angulo A V (°)	Angulo B V (°)	Angulo C V (°)	Angulo A A - V (°)	Angulo B A - V (°)	Angulo C A - V (°)	Capacitores MFD
sin carga	200	0	0,1	200	0	-121	-241	-89	-89	90	0
600 Ohm 100millas	200	0	0,6	200	0	-121	-241	-176	-176	4	0
Carga máx. 100millas	220	0,1	3,9	184	0	-121	-241	-179	-179	1	0
600 Ohm 100millas	200	0,4	0,9	211	0	-121	-241	-135	-134	45	4
Carga máx. 100millas	220	1,1	4,3	194	0	-121	-241	-158	-158	22	4,8

- Conclusiones
- En las graficas y datos podemos verificar la separación entre fases de 120° .
- La potencia reactiva es directamente proporcional a la distancia y a la carga instalada en esta.
- El voltaje en la carga es inversamente proporcional a la magnitud de esta y la distancia de la línea de transmisión.
- Cuando se instalan capacitores en paralelo a la carga se incrementa el voltaje.
- Se experimenta una nueva forma de regular el voltaje diferente a la que se vio en la práctica anterior.

4. GUÍA DE CALIDAD DE LA ENERGÍA

4.1 OBJETIVOS

- Entregarle al estudiante que consulte esta guía un resumen con la concepción básica y experimental que se debe tener para estar bien documentado en temas de alta difusión y gran aceptación hoy en día con lo es la calidad de la energía.
- Manejar nueva terminología que ingresa en el ámbito de la ingeniería eléctrica de acuerdo a las necesidades planteadas por los usuarios finales de la energía.

4.2 INTRODUCCIÓN

Cada vez más, los receptores eléctricos de la industria, del sector terciario y hasta del doméstico son cargas deformantes (no lineales). Absorben corrientes no senoidales y éstas, teniendo en cuenta las impedancias de los circuitos, deforman la onda senoidal de la tensión. Este fenómeno es, hoy en día, preocupante porque produce muchos problemas.

Se invita al estudiante que no es un especialista en el tema a empezar la lectura para que así encuentre bases necesarias para comprender las diversas soluciones clásicas y nuevas para minimizar o combatir los fenómenos que atentan contra la calidad de la energía. Debemos conocer además de las magnitudes características, los elementos perturbadores, la influencia de los sistemas de alimentación y los efectos nocivos de los fenómenos a estudiar.

4.3 MARCO CONCEPTUAL

Joseph FOURIER demostró que toda función periódica no senoidal puede representarse por una suma de términos senoidales cuyo primer sumando, a la frecuencia de repetición de la función, se llama fundamental y los otros, a frecuencias múltiplos de la fundamental, se llaman armónicos. A estos términos, puramente senoidales, puede unírseles eventualmente una componente continua.

Fórmula de FOURIER

$$y(t) = Y_0 + \sum_{n=1}^{n=\infty} Y_n \sqrt{2} \operatorname{sen}(n \omega t + \varphi_n)$$

Siendo:

- Y_0 : Valor de la componente continua, generalmente nula y considerada así para el resto de la explicación.
- Y_n : Valor eficaz del armónico de orden n .
- ω : Pulsación de la frecuencia fundamental.
- φ_n : Desfase de la componente armónica de orden n .

Esta noción de armónico se aplica al conjunto de fenómenos periódicos, cualquiera que sea su naturaleza, pero especialmente a la corriente alterna.

- Valor eficaz de una magnitud alterna no senoidal

Hay una identidad entre la expresión usual de este valor eficaz calculado a partir de la evolución en el tiempo de la magnitud alterna $[y(t)]$ y la expresión calculada a partir de su contenido de armónicos:

$$Y_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T y^2(t) dt} = \sqrt{\sum_{n=1}^{n=\infty} Y_n^2}.$$

Destaquemos que, si hay armónicos, los aparatos de medida deben de tener una amplia banda pasante (> 1 kHz).

- Tasa de distorsión

La tasa de distorsión es un parámetro que define globalmente la deformación de la magnitud alterna:

$$TDA(\%) = 100 \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n=\infty} Y_n^2}}{Y_1}.$$

Hay también otra definición que sustituye la fundamental Y_1 por el valor eficaz total Y_{eff} . Ciertos aparatos de medida la utilizan. Tasa individual.

- Tasa individual de armónicos

Esta magnitud representa la razón del valor eficaz de un armónico respecto al valor eficaz de la fundamental (Y_1), según la definición usual, o bien respecto al valor eficaz de la magnitud alterna (Y_{ef}):

$$A_n(\%) = 100 \frac{Y_n}{Y_1}.$$

- Espectro (de frecuencia)

Es la representación de la amplitud de los armónicos en función de su orden o rango; el valor de los armónicos se suele expresar en porcentaje de la fundamental.

- Factor de potencia y $\cos \varphi_1$

Cuando hay armónicos, es importante no confundir estos dos términos, que son iguales solamente cuando las corrientes y tensiones son perfectamente senoidales.

- El factor de potencia (λ) es la razón entre las potencias activa P y aparente S:

$$\lambda = \frac{P}{S}$$

- El factor de defasaje ($\cos \varphi_1$) se refiere a las magnitudes fundamentales, por tanto:

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{S_1}$$

- Factor de Deformación

Según la CEI 146-11, es la razón entre el factor de potencia y el ($\cos \varphi_1$):

$$v = \frac{\lambda}{\cos \varphi_1}$$

Siempre es menor o igual a 1.

- Factor de Cresta

Es la razón entre el valor pico respecto al valor eficaz de una magnitud periódica:

$$F_c = \frac{Y_{\text{pico}}}{Y_{\text{eficaz}}}$$

Cargas Lineales y No Lineales

Se dice que una carga es lineal cuando hay una relación lineal (ecuación diferencial lineal con coeficiente constante) entre la corriente y la tensión o, dicho de otra manera más simple, una carga lineal absorbe una corriente senoidal cuando se alimenta con una tensión senoidal, pudiendo estar la corriente desfasada un ángulo φ respecto a la tensión.

Cuando esta relación lineal no se cumple, se habla de carga no-lineal. Ésta absorbe una corriente no senoidal, por tanto con corrientes armónicas, a pesar de estar alimentada por una tensión perfectamente senoidal.

- Distorsión de tensión y distorsión de la corriente

Un receptor no lineal provoca caídas de tensión armónicas en los circuitos que le alimentan. Esto hay que tenerlo presente para todas las impedancias aguas arriba hasta llegar a la fuente de tensión senoidal. Por tanto, un receptor que absorbe corrientes armónicas tiene siempre una tensión no senoidal en sus bornes. La tasa global de distorsión armónica en tensión es la magnitud que caracteriza este fenómeno:

Las cargas deformantes

La mayor parte de las cargas deformantes son convertidores estáticos.

Pueden ser pocos y de gran potencia o abundantes y de poca potencia, por ejemplo:

- Las lámparas fluorescentes, los reguladores de luz.
- Los ordenadores.
- Los aparatos electrodomésticos (televisores, microondas, etc.).

• Efectos perjudiciales de los armónicos

- Efectos en los aparatos y sistemas de poca corriente

La distorsión armónica puede provocar:

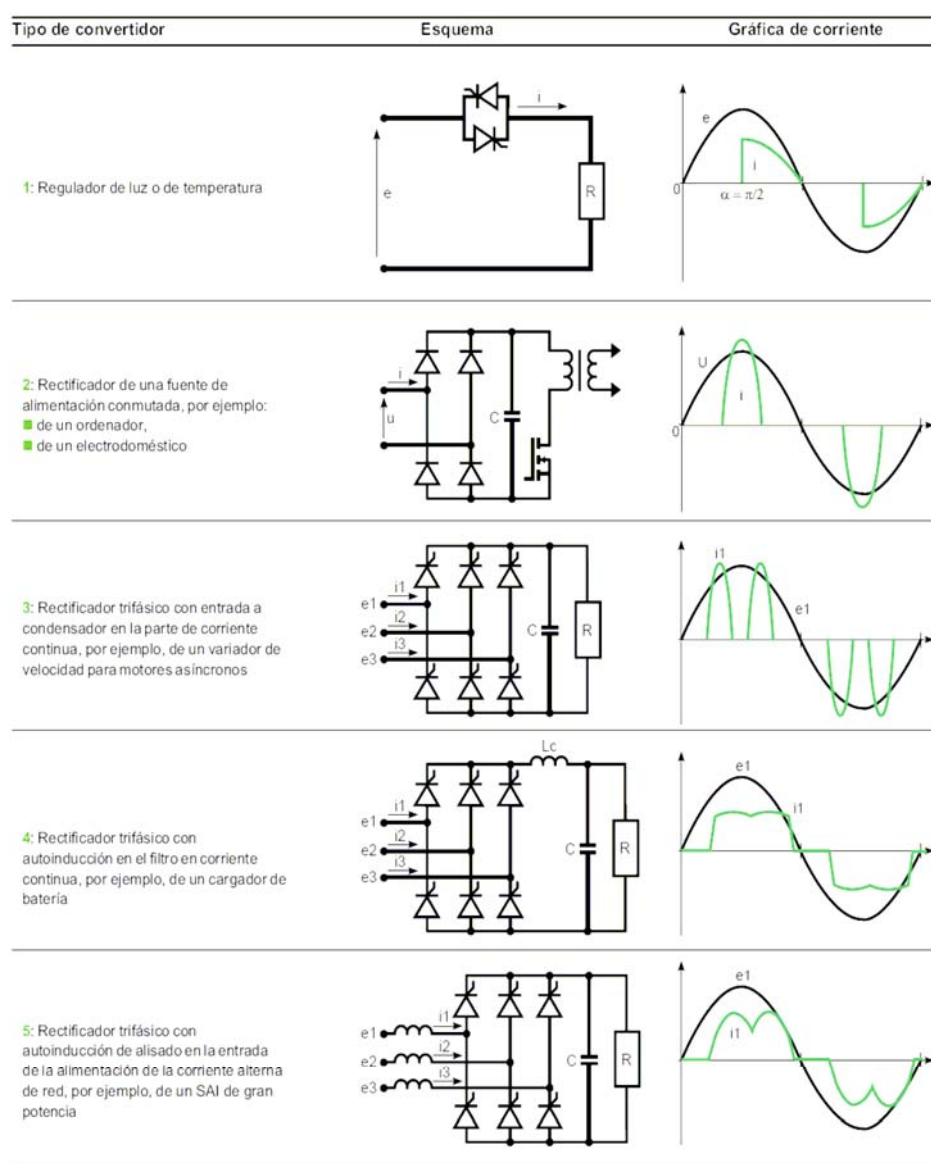
- El mal funcionamiento de ciertos aparatos que utilizan la tensión como referencia para el control de los semiconductores o como base de tiempos para la sincronización de ciertos equipos.
- Perturbaciones porque se crean campos electromagnéticos. Así, cuando los conductores de «baja intensidad» o de «transmisión de datos» están muy próximos a cables de gran potencia recorridos por corrientes armónicas, pueden, por inducción, ser receptores de corrientes que pueden provocar fallos en el funcionamiento de los elementos conectados a ellos.
- Por último, la circulación de corrientes armónicas por el neutro provoca una caída de tensión en el conductor; así, si el sistema de puesta a tierra del neutro es el TN-C, las masas de los diversos equipos no quedan a la misma tensión, lo que por su propia naturaleza provoca perturbaciones en los intercambios de información entre receptores «inteligentes». Además, hay circulación de corrientes por las estructuras metálicas de los edificios y, por tanto, creación de campos electromagnéticos perturbadores.

Tabla 9. Numeración de armónicos

Nº	H ₃	H ₅	H ₇	H ₉	H ₁₁	H ₁₃	H ₁₅	H ₁₇	H ₁₉
1	54	18	18	11	11	8	8	6	6
2	75	45	15	7	6	3	3	3	2
3	0	80	75	0	40	35	0	10	5
4	0	25	7	0	9	4	0	5	3
5	0	33	3	0	7	2	0	3	2

Fuente: BETTEGA, Eric; FIORINA, Jean. Cuaderno Técnico #183. Berlín: Schneider Electric, 2000. p. 47.

Figura 60. Curvas de la corriente absorbida por diversas cargas no lineales.

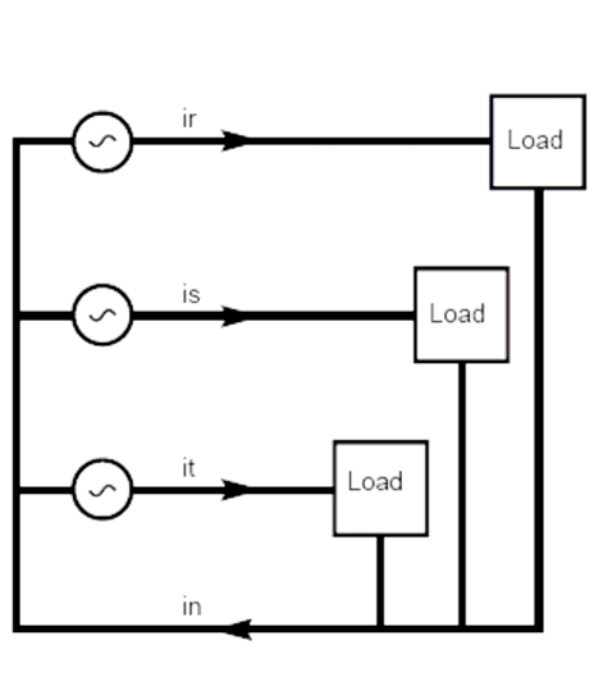


Fuente: BETTEGA, Eric; FIORINA, Jean. Cuaderno Técnico #183. Berlín: Schneider Electric, 2000. p. 48.

- Sobrecarga en el conductor neutro
- Análisis del tercer armónico y sus múltiplos

Considere un sistema simplificado que consiste en una fuente trifásica balanceada y tres fases cargadas igualmente, conectadas entre fase y neutro.

Figura 61. Esquema de tercer armónico



Fuente: BETTEGA, Eric; FIORINA, Jean. Cuaderno Técnico #183. Berlín: Schneider Electric, 2000. p. 49.

Si las cargas son lineales, la corriente constituye un sistema trifásico balanceado. La suma de las corrientes por fase es entonces cero, como lo es la corriente por el neutro.

$$i_n = \sum i_i = 0$$

Si las cargas son no lineales, las corrientes por fase son no sinusoidales y entonces contienen armónicos, particularmente del orden del cual son múltiplos de 3.

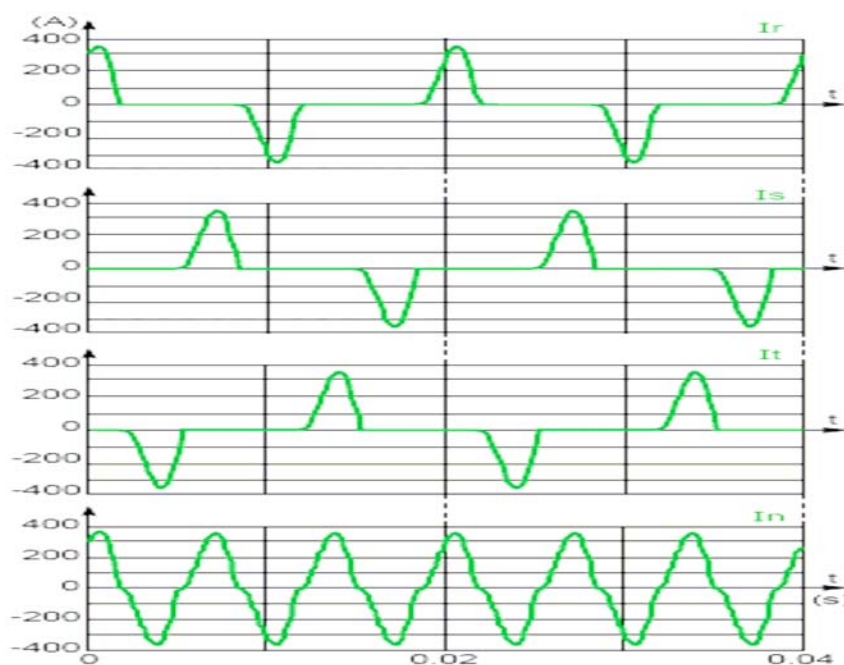
Desde que todas las corrientes trifásicas sean iguales, la corriente armónica de tercer orden, por ejemplo, tiene igual magnitud y puede ser escrita así:

$$\begin{aligned} i_{r3} &= I_3 \sin 3(\omega t) \\ i_{s3} &= I_3 \sin 3\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) = I_3 \sin(3\omega t - 2\pi) = i_{r3} \\ i_{t3} &= I_3 \sin 3\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) = I_3 \sin(3\omega t - 4\pi) = i_{r3} \end{aligned}$$

Aparición de la corriente en el neutro

La siguiente figura muestra la corriente circulando en las fases de tres fases monofásicas iguales con una carga no lineal entre la fase y el neutro, y también la corriente resultante por el conductor neutro.

Figura 62. Corrientes de fase entregadas por una carga monofásica no lineal.



Fuente: BETTEGA, Eric; FIORINA, Jean. Cuaderno Técnico #183. Berlín: Schneider Electric, 2000. p. 49.

El espectro para estas corrientes es mostrado en la siguiente figura. Note que la corriente que va por el neutro solo contiene componentes los cuales son múltiplos de 3(3, 9, 15, etc.), estas magnitudes son tres veces más grandes que las corrientes de fase ²

Figura 63. Espectro de corriente de fase.

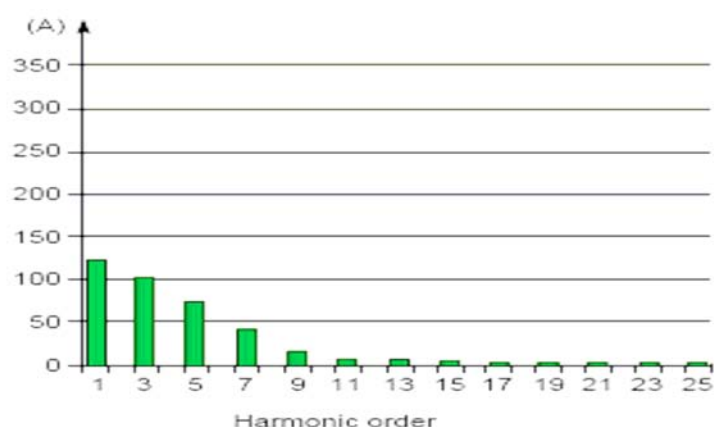


Fig. 15: Spectrum of the phase current supplying non-linear single-phase loads

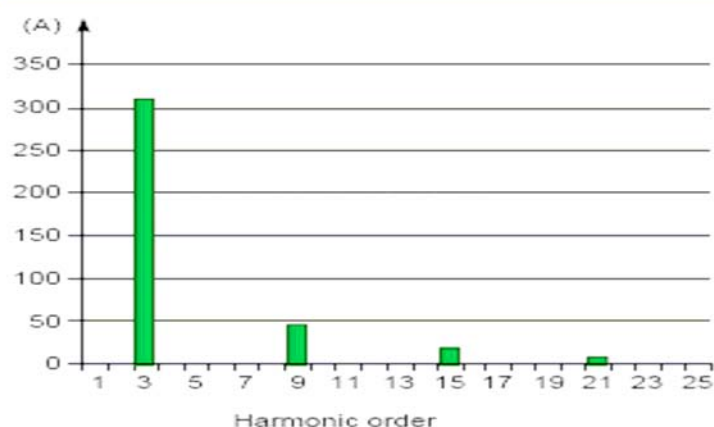


Fig. 16: Spectrum of the neutral current drawn by non-linear single-phase loads

Fuente: BETTEGA, Eric; FIORINA, Jean. Cuaderno Técnico #183. Berlín: Schneider Electric, 2000. p. 49.

² BETTEGA, Eric; FIORINA, Jean. Cuaderno Técnico #183. Berlín: Schneider Electric, 2000. p. 46.

4.4 CONCEPTUALIZACION.

- Explicar en palabras propias lo que significa una carga lineal para un sistema de distribución eléctrica.

R/ Hablamos de una carga lineal cuando existe una relación totalmente lineal entre la corriente absorbida por la carga a la red alimentadora y la tensión de alimentación a la carga, pudiendo con esto obtener un desfase de la corriente respecto a la tensión.

- Explicar en palabras propias lo que causa una carga no lineal a un sistema de distribución.

R/ Una carga no lineal causa una distorsión en la onda de tensión de alimentación debido a que la corriente absorbida a la red contiene corrientes armónicas.

- ¿Qué forma de onda tiene la tensión en los bornes de una carga que absorbe corrientes armónicas?.

R/ La forma de onda de una tensión que esta alimentando una carga no lineal es distorsionada dependiendo de la tasa de distorsión que me indica cuando se vuelve critica la situación.

- Cuales son los tipos de cargas que mas le ingresan ruido a una red de distribución.

R/ Es importante tener claro que estos fenómenos tienden a crecer en las redes de distribución debido a que su mayor fuente son los convertidores estáticos que existen en las industrias los cuales contienen gran cantidad de electrónica de potencia, este es un campo que esta en constante desarrollo.

- Exprese en palabras propias cuales son los efectos negativos mas relevantes de los armónicos.

Se podrían nombrar 3 efectos siendo los mas negativos de los armónicos en las redes de distribución.

R/ El mal funcionamiento de equipos que utilizan la tensión como referencia para el control de los semiconductores o como base de tiempos para la sincronización de los mismos.

R/ La inducción que generan los campos magnéticos creados por conductores que transportan corrientes armónicas, son constantes fuentes de falla o ruido para conductores de baja intensidad o de transmisión de datos.

R/ La circulación de corrientes armónicas por el neutro genera una caída de tensión en el conductor; así, el sistema de puesta a tierra del neutro no queda a la misma tensión, lo que por su propia naturaleza provoca circulación de corrientes por las estructuras metálicas de los edificios y, por tanto, creación de campos electromagnéticos perturbadores.

- Explicar en palabras propias a que se refiere una sobrecarga en el conductor neutro.

R/ Se sabe que cuando tenemos cargas lineales la corrientes constituye un sistema trifásico balanceado, en donde la sumatoria de las corrientes por fase es cero, resulta que cuando se tienen cargas no lineales, las corrientes por fase son no sinusoidales y contienen armónicos, en donde particularmente del orden del cual son múltiplos de 3 generan tensiones inducidas en el neutro.

5. CONCLUSIONES

- El desarrollo de este tipo de proyectos de grado conlleva a la aplicación de nuevas herramientas de trabajo con lo cual la academia mejora la ejecución de cursos importantes como Potencia 1, Potencia 2 y Potencia 3 dando una retroalimentación práctica que lleve al Ingeniero Electricista de la UAO a tener conocimientos mas sólidos dentro de su formación.
- Después de desarrollar las practicas nos damos cuenta que la Universidad posee elementos para ejecutar practicas que complementen y refuercen cursos como los de Sistemas de Potencia Eléctrica y de otros planes de estudio académico, incentivando de esta manera el autoaprendizaje en los estudiantes.
- A pesar de que se trato de abordar todos los medios que se tienen para la realización de una práctica, aún quedan cosas por mejorar y que en un futuro podrían complementar estos laboratorios como son las simulaciones en línea con los experimentos, se debe considerar la posibilidad de llevar uno o dos cursos específicos en software de simulación para poder tener un mejor manejo de lo que se desea ejecutar, ya que estos programas requieren gran cantidad de información de entrada para poder visualizar lo que se espera con la teoría, con todo esto se tendría la certeza de que la formación del estudiante en sus cursos de Potencia seria efectiva.
- Con los laboratorios planteados en esta Tesis se logra aterrizar muchos conceptos aprendidos en las clases teóricas y permite aprender el manejo de equipos que son relativamente nuevos dentro del laboratorio como son el analizador de redes FLUKE.

BIBLIOGRAFIA

BETTEGA, Eric; FIORINA, Jean. Cuaderno Técnico #183. Berlín: Schneider Electric, 2000. 150 p.

CORREA, Gustavo. Compensación de Energía Reactiva. Chile: Addison Wesley Longman, 1998. 180 p.

STEVENSON, Willian jr; GRAINGER, jhon. Análisis de Sistemas de Potencia. México. McGraw-Hill, 2003. 740 p.

WILDI, Theodore. Sistemas de Transmisión de Potencia Eléctrica. Chicago: Limusa, 1995. 637 p.

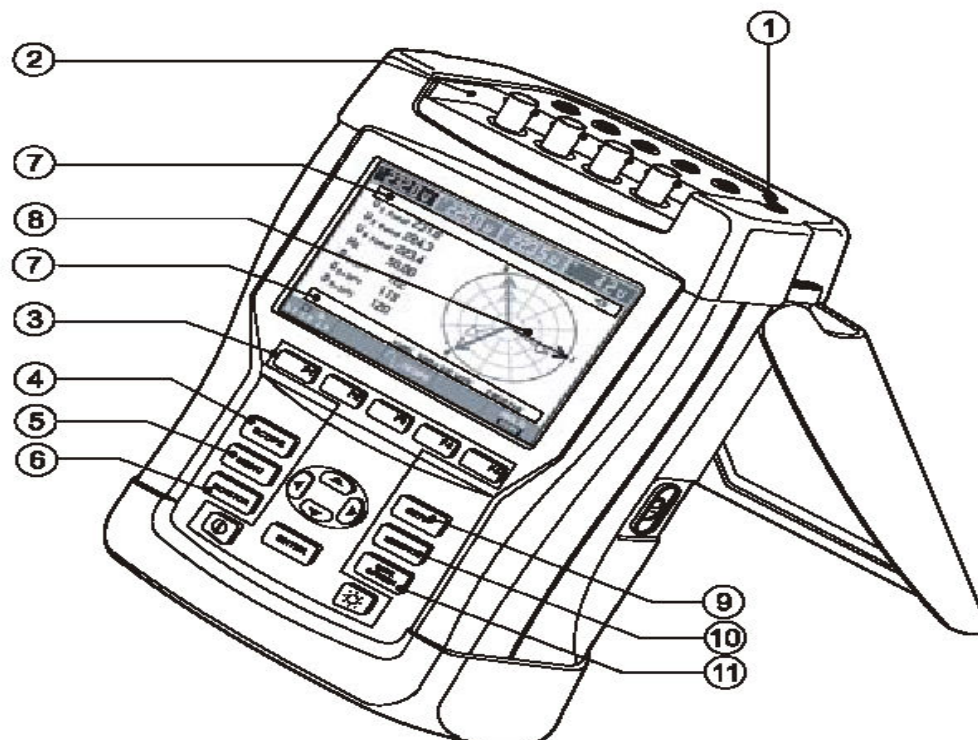
ANEXOS

Anexo A. Manual experimental del analizador de redes fluke.

- Elementos Básicos



- Información básica del fluke



	Tema
①	Carga de las baterías y preparación para el uso.
②	Conexiones de entrada.
③	Funciones auxiliares, Navegación por los menús.
④	Modo Osciloscopio (tecla SCOPE).
⑤	Menú de medidas (tecla MENU).
⑥	Supervisión de la calidad eléctrica (tecla MONITOR).
⑦	Símbolos en pantalla.
⑧	Pantallas y teclas de función.
⑨	Configuración del analizador (tecla SETUP).
⑩	Utilización de la memoria (tecla MEMORY).
⑪	Almacenamiento de pantallas (tecla SAVE SCREEN).

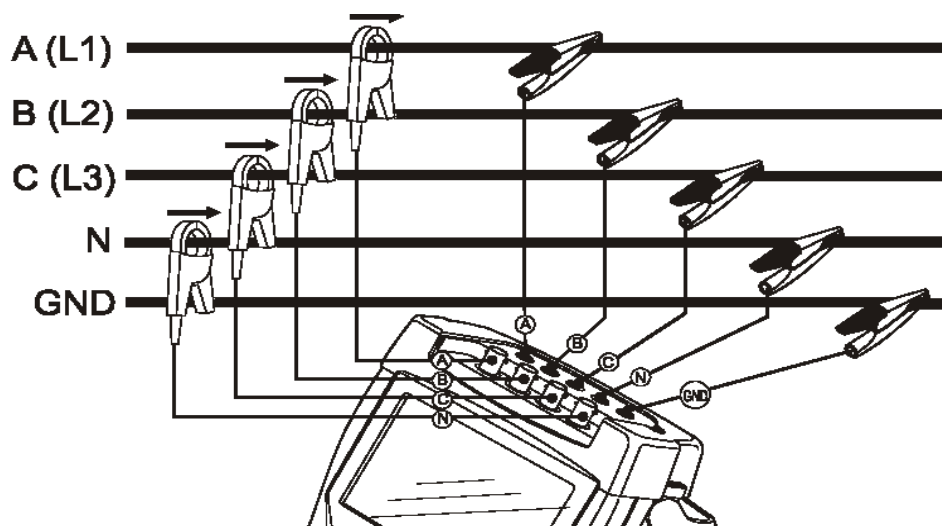
Carga de las baterías y preparación para el uso

Es posible que las baterías de NiMH instaladas estén descargadas cuando adquiera el analizador. Para que se carguen totalmente, deberá cargarlas durante 4 horas con el analizador apagado:

- utilice solamente el cargador de batería/adaptador de red modelo BC430 suministrado.
- antes de utilizarlo, compruebe que el rango de tensión y frecuencia del modelo BC430 coincide con el rango de alimentación de la red eléctrica local (consulte la figura que aparece a continuación). Si es necesario, cambie el conmutador deslizante del modelo BC430 a la tensión correcta.
- conecte el cargador de batería a la toma de red CA.
- conecte el cargador de batería a la entrada del ADAPTADOR DE RED situada en la parte superior del analizador.



- Conexión del analizador a un sistema de distribución trifásico



Conexión del analizador a un sistema de distribución trifásico

- Descripción general de los modos de medida

SCOPE

MODO OSCILOSCOPIO. Están disponibles las siguientes funciones:

Modo de medida	Tipo de pantalla	Representación de los resultados de las medidas	Cursor/Zoom
Osciloscopio	Forma de onda	Gráficas de las formas de onda de la tensión/corriente + valores numéricos.	Sí / Sí
Diagrama fasorial	Diagrama vectorial	Relación de fases tensión/corriente + valores numéricos.	No / No

MENU


MENÚ DE MEDIDAS. Se puede acceder a las funciones de medida por medio de la tecla MENU (MENÚ). Están disponibles las siguientes funciones:

Modo de medida	Tipo de pantalla	Representación de los resultados de las medidas	Cursor/Zoom
V/A/Hz	Tabla	Valores numéricos: tensión, corriente, frecuencia, factor de cresta.	No / No
	Tendencia	Tendencia a lo largo del tiempo de los valores de la tabla.	Sí / Sí
Fluctuaciones	Tendencia	Tendencia a lo largo del tiempo con rápida velocidad de actualización: tensión/corriente.	Sí / Sí
	Tabla	Registra los eventos que superan los límites: tablas normales/detalladas disponibles.	No / No

Modo de medida	Tipo de pantalla	Representación de los resultados de las medidas	Cursor/Zoom
Armónicos	Gráfico de barras	CC, THD (distorsión armónica total), interarmónicos y armónicos de tensión/ corriente/potencia.	Sí / No
	Tabla	Valores numéricos de un conjunto de (inter)armónicos.	No / No
Potencia y energía	Tabla	Valores numéricos: potencia activa/potencia aparente/potencia reactiva/factor de potencia/factor de potencia de desplazamiento/tensión/corriente/utilización de la energía, contador de los pulsos de salida del medidor de energía.	No / No
	Tendencia	Tendencia a lo largo del tiempo de los valores de la tabla.	Sí / Sí
Parpadeo (Flicker) de tensión	Tabla	Valores numéricos: flicker a corto/largo plazo, CC, Dmax, TD.	No / No
	Tendencia	Tendencia a lo largo del tiempo de los valores de la tabla.	Sí / Sí
Desequilibrio	Tabla	Valores numéricos: porcentajes de desequilibrio tensión/corriente, fundamental de la tensión/corriente, ángulo de fase.	No / No
	Tendencia	Tendencia a lo largo del tiempo de los valores de la tabla.	Sí / Sí
	Diagrama fasorial	Relación de fases tensión/corriente + valores numéricos.	No / No
Transitorios	Forma de onda	Formas de onda de tensión/corriente + valores numéricos; registra los eventos que superan los límites ajustables.	Sí / Sí
Corriente de arranque	Tendencia	Registra los eventos que superan los límites ajustables.	Sí / Sí

MONITOR






SUPERVISIÓN DE LA CALIDAD ELÉCTRICA. Están disponibles las siguientes funciones:



Modo de medida	Tipo de pantalla	Representación de los resultados de las medidas	Cursor/Zoom
Pantalla principal	Gráfico de barras	A través del menú de inicio: descripción general de las medidas principales de calidad eléctrica; información detallada disponible por medio de las teclas de función F1 (V rms), F2 (Armónicos), F3 (Flicker), F4 (Bajadas, Interrupciones, Cambios rápidos de tensión, Subidas) y F5 (Desequilibrio, Frecuencia).	Sí / No
	Tabla de eventos	Registra los eventos que superan los límites: tablas normales/detalladas disponibles.	No / No
	Tendencia	Tendencia a lo largo del tiempo de los grupos de datos seleccionados por medio de F1 ... F5.	Sí / Sí
	Gráfico de barras	Gráfico de barras detallado para armónicos	Sí / No

Símbolos en Pantalla

Pueden aparecer diversos símbolos en la zona superior e inferior de la pantalla para indicarle el estado del analizador y las medidas.

Indicadores de estado en la zona superior de la pantalla:

 9999:59:59	Indica el tiempo que se ha empleado para realizar una medida. Formato: horas, minutos, segundos. Cuando se espera un inicio programado, se muestra una cuenta atrás del tiempo con el prefijo -.
 2x	ZOOM horizontal activado.
 U	La medida puede ser inestable. Por ejemplo, puede ser el caso de una lectura de frecuencia sin tensión en la fase de referencia A (L1).
 F	Indica, conforme a las convenciones de indicación de la norma IEC 61000-4-30, que se ha producido una fluctuación o interrupción durante el intervalo de agregación mostrado. Indica que un valor agregado puede no ser fiable.
 REC	Se ha activado la grabación de los datos de medida.

	Indicación de alimentación con batería/toma de red. Durante el funcionamiento con batería, se muestra su estado de carga.
 0	Teclado bloqueado. Pulse ENTER durante 5 segundos para bloquear/desbloquear.

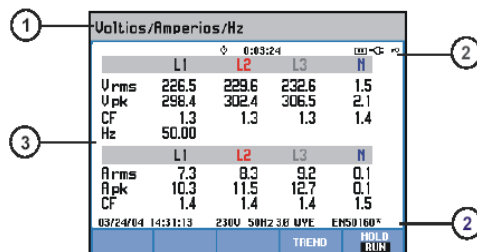
Línea de estado en la zona inferior de la pantalla:

29/04/03	Fecha del reloj de tiempo real del analizador. El formato de fecha puede ser mes-día-año o día-mes-año.
16:45:22	Hora del día o tiempo del cursor.
230 V 50 Hz	Frecuencia y tensión nominal de red: la referencia para las medidas.
3Ø WYE	Número de fases y configuración de cableado para la medida.
EN50160	Nombre de los valores límite utilizados para la supervisión de la calidad eléctrica, las fluctuaciones, las interrupciones y los cambios rápidos de tensión.

Pantallas y Teclas de Función

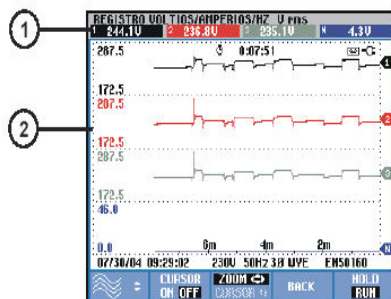
El analizador cuenta con cinco tipos de pantalla diferentes para mostrar los resultados de las medidas. Cada tipo de pantalla está organizado para presentar los datos de la forma más clara posible. Las fases se indican por medio de colores determinados. Las selecciones se llevan a cabo mediante las teclas de flecha y de función: la selección activa queda resaltada por un fondo negro. A continuación se explican los detalles de cada pantalla y sus funciones. Lea atentamente esta sección para familiarizarse con todas las funciones del analizador.

Pantalla de TABLA



Esta pantalla ofrece un rápido resumen de los valores numéricos más importantes de la medida. Se muestra

Pantalla de TENDENCIA



La pantalla de Tendencia muestra los cambios a lo largo del tiempo de los valores de medida en una fila de la tabla. Se muestra como ejemplo la tabla TENDENCIA VOLT./AMP./HZ. El tiempo aparece de forma horizontal. Los datos de la pantalla se inician desde el lado derecho. Para permitir una grabación continua de los datos, el eje del tiempo se comprime cuando es necesario.

Información en pantalla:

- Presenta los valores del gráfico de tendencias en el lado derecho de la pantalla. Si CURSOR está ACTIVADO, aparecerán en el cursor los valores de tendencias.

como ejemplo la tabla perteneciente al modo Voltios/Amperios/Hz.

Información en pantalla:

①	Encabezado con el modo de medida activo.
②	Indicadores de estado y línea de estado.
③	Tabla con los valores de la medida. El contenido depende del modo de medida, el número de fases y la configuración de cableado.

Teclas de función:

F4	Acceso a la pantalla de TENDENCIA. Consulte el siguiente apartado para obtener más información.
F5	Esta tecla cambia entre los modos RETENCIÓN y EJECUCIÓN para la actualización de la forma de onda. Si cambia de RETENCIÓN a EJECUCIÓN, se abrirá un menú para seleccionar un inicio inmediato (AHORA) o PROGRAMADO, que le permite definir la hora de inicio y la duración de la medida.

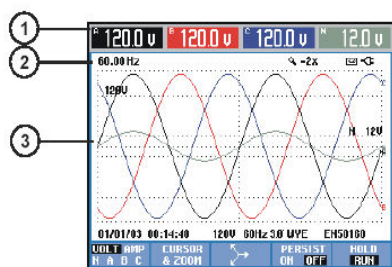
- Área de visualización de tendencias.

Teclas de función:

F1	Esta tecla asigna teclas de flecha hacia arriba/hacia abajo para seleccionar la fila de la tabla que desea ver como tendencia. La fila seleccionada se indica en el encabezado de la pantalla.
F2	CURSOR ACTIVADO/DESACTIVADO.
F3	Esta tecla asigna las teclas de flecha para CURSOR o ZOOM. Si mueve el cursor a lo largo del extremo izquierdo o derecho de la pantalla, se mostrará la pantalla siguiente, hasta un máximo de 6. ZOOM le permite ampliar o reducir la pantalla para ver detalles o el gráfico completo dentro del área de pantalla.
F4	Esta tecla le permite volver a la pantalla anterior.
F5	Esta tecla cambia entre RETENCIÓN y EJECUCIÓN.

Pantalla de FORMA DE ONDA

Se muestra como ejemplo la pantalla Forma de onda de Osciloscopio. Las formas de onda de tensión y corriente se muestran de forma similar a un osciloscopio.

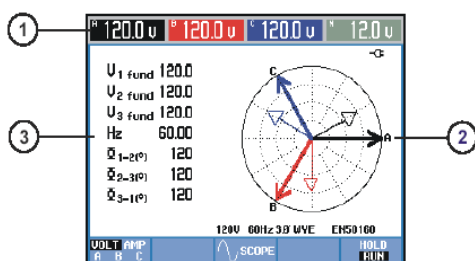


Información en pantalla:

- | | |
|---|---|
| ① | Los valores RMS de las formas de onda aparecen en el encabezado. |
| ② | Visualización de la frecuencia medida. |
| ③ | Área de visualización de la forma de onda con líneas de indicación en los niveles importantes de tensión/corriente. |

Pantalla de DIAGRAMA FASORIAL

Muestra la relación de fases entre las tensiones y las corrientes en un diagrama fasorial. Se muestra como ejemplo la pantalla Diagrama fasorial.



Información en pantalla:

- | | |
|---|--|
| ① | Los valores RMS de las formas de onda aparecen en el encabezado. |
| ② | Diagrama fasorial. El vector de la fase A (L1) de referencia se sitúa sobre el eje X. |
| ③ | Datos adicionales como las tensiones de fase fundamentales, la frecuencia y los ángulos de fase. |

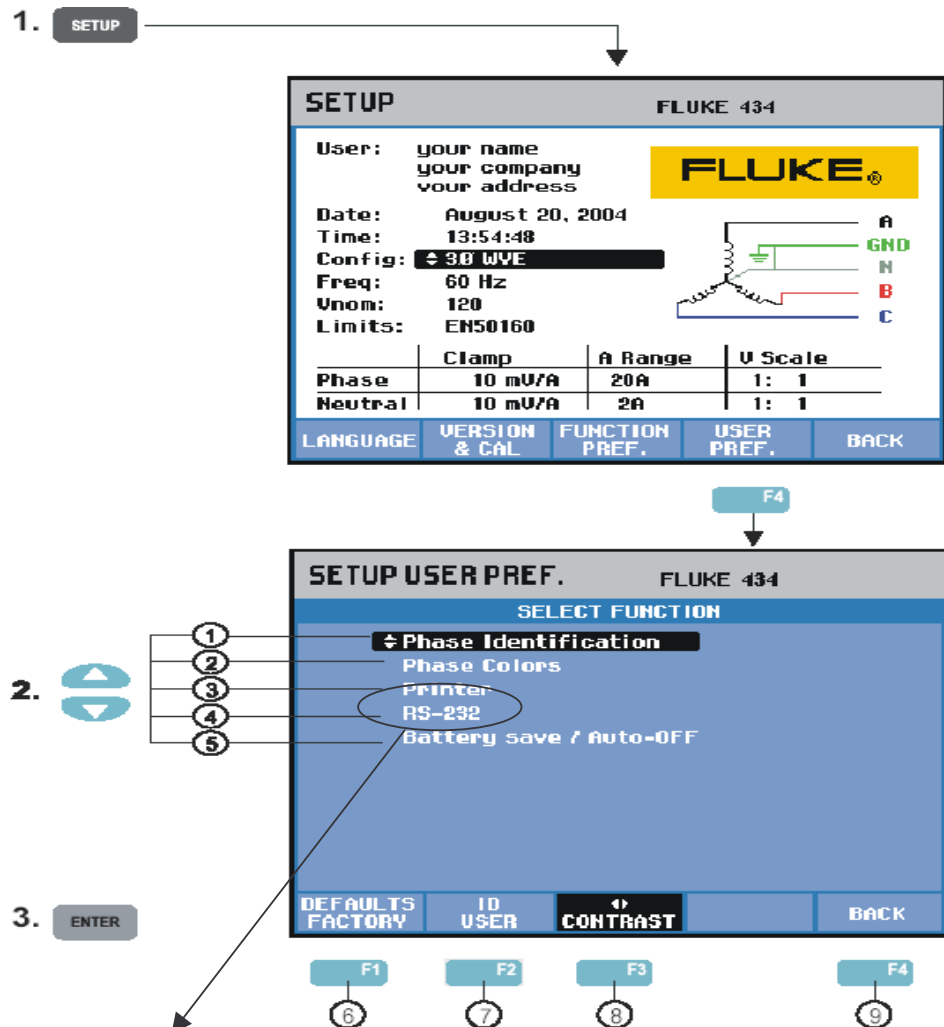
Teclas de función:

F1	Esta tecla permite seleccionar el conjunto de formas de onda mostrado: V muestra todas las tensiones, A muestra todas las corrientes. A (L1), B (L2), C (L3), N (neutro) muestran simultáneamente la tensión y corriente de la fase seleccionada.
F2	Esta tecla abre el submenú para CURSOR y ZOOM.
F3	Esta tecla cambia a la pantalla de Diagrama fasorial. Consulte el siguiente apartado para obtener más información.
F4	PERSISTENCIA ACTIVADA memoriza todas las variaciones de formas de onda en pantalla.
F5	Esta tecla cambia entre RETENCIÓN y EJECUCIÓN.

Teclas de función:

F1	Esta tecla permite seleccionar el conjunto de datos mostrado.
F3	Esta tecla le permite volver a la pantalla Forma de onda de Osciloscopio.
F5	Esta tecla cambia entre RETENCIÓN y EJECUCIÓN.

- Configuración de la velocidad de comunicación con el PC.



Se ingresa en el menú de RS-232, en el cual ajustamos la velocidad con la cual el analizador se va a comunicar con el PC. Este valor debe ser igual al parametrizado en el fluke-View en el PC.